

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт Энергетический

Направление подготовки 13.03.02 – «Электроэнергетика и электротехника»

Кафедра Электропривод и электрооборудование

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
Электроснабжение цеха по ремонту электровазозов локомотивного депо

УДК 621.31.031.001.6:621.335

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г13	Ким П.Ю.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Паюк Л.А.	К.Т.Н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Мелик-Гайказян М.В.	К.Э.Н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романцов И.И.	К.Т.Н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Электропривод и электрооборудование	Дементьев Ю.Н.	К.Т.Н., доцент		

Томск – 2016 г.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ**  
**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический  
 Направление подготовки 13.03.02 – «Электроэнергетика и электротехника»  
 Кафедра Электропривод и электрооборудование

УТВЕРЖДАЮ:  
 Зав. кафедрой  
 \_\_\_\_\_ Дементьев Ю.Н.  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

<b>Бакалаврской работы</b>
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г13	Ким Павлу Юрьевичу

Тема работы:

Электроснабжение цеха по ремонту электровазозов локомотивного депо	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p><i>Объектом исследования является цех по ремонту электровазозов локомотивного депо. В качестве исходных данных представлены:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- генеральный план депо;</li> <li>- план цеха о ремонту электровазозов;</li> <li>- сведения об электрических нагрузках депо;</li> <li>- сведения об электрических нагрузках цеха по ремонту электровазозов.</li> </ul>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования;</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- постановка задачи проектирования;</li> <li>- проектирование системы электроснабжения рассматриваемого депо;</li> <li>- детальное рассмотрение особенностей трансформаторных подстанций в системах электроснабжения с последующим выбором цеховых трансформаторов;</li> <li>- обсуждение результатов выполненной работы;</li> </ul>

обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).		- разработка раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»; - разработка раздела «Социальная ответственность»; - заключение.
<b>Перечень графического материала</b> (с точным указанием обязательных чертежей)		- картограмма электрических нагрузок предприятия; - план внутризаводского электроснабжения; - однолинейная схема цеха по ремонту электровозов.
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> (с указанием разделов)		
<b>Раздел</b>		<b>Консультант</b>
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»		Мелик-Гайказян Мария Вигеновна
«Социальная ответственность»		Романцов Игорь Иванович
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>		

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	10.02.2016г
---	-------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Паюк Л.А.	К.Т.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г13	Ким П.Ю.		

# ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
З-5Г13	Ким Павлу Юрьевичу

Институт	Энергетический	Кафедра	Электропривод и электрооборудование
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

## Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость затрат технического проекта: на материальные затраты, зарплаты, страховые отчисления и накладные расходы	В техническом проекте были задействованы 2 человека (руководитель, бакалавр). Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости по г.Томску. Заработная плата рассчитывается в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ.
2. Продолжительность выполнения	Приблизительная оценка продолжительности выполнения технического проекта определяется исходя из ожидаемой трудоёмкости работ.

## Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Планирование и формирования графика работ по реализации технического проекта	Для составления графика по проектированию электроснабжения предприятия используется оценка трудоемкости работ для каждого исполнителя. По полученным данным строится график Ганта, позволяющий спланировать процесс реализации технического проекта.
2. Формирование сметы технического проекта	В процессе формирования сметы технического проекта используется следующая группировка затрат по статьям: материальные затраты; полная заработная плата исполнителей; отчисления во внебюджетные фонды; накладные расходы;
3. Ресурсоэффективность технического проекта	Оценка эффективности проекта производится с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	10.02.2016г
--	-------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Мелик-Гайказян М.В.	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-5Г13	Ким П.Ю.		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г13	Ким Павлу Юрьевичу

Институт	Энергетический	Кафедра	Электропривод и электрооборудование
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p><i>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</i></p> <p><i>вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)</i></p>	<p><i>Описание рабочего места на предмет возникновения:</i></p> <p><i>-вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)</i></p> <p><i>- опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, электрической, природы)</i></p>
--	--

<p><i>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</i></p>	<p><i>ПУЭ, СН-245, НПБ 105-03, ГОСТ 12.1.012-90, ГОСТ 12.0.002-97, ГОСТ 12.1.005-97,</i></p> <p><i>СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03</i></p>
--	---

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p><i>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><i>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</i></li> <li><i>– действие фактора на организм человека;</i></li> <li><i>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</i></li> <li><i>– предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><i>- физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</i></li> <li><i>- действие фактора на организм человека;</i></li> <li><i>- приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</i></li> <li><i>- предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)</i></li> </ul>
---	--

<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, средства пожаротушения)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</li> </ul>
<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– разработка и принятие решений по обеспечению экологической безопасности предприятия.</li> </ul>
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС на объекте;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС на объекте;</li> <li>– эвакуация людей из зданий и помещений.</li> </ul>
<b>Перечень графического материала:</b>	
При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)	

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	<b>10.02.2016г</b>
---	--------------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романцов И.И.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г13	Ким П.Ю.		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит: 115 с., 16 рис., 25 табл., 13 источников, 3 приложения.

Ключевые слова: компенсация, электроснабжение цеха, выбор трансформаторов, выбор оборудования, проверка оборудования, однолинейная схема, менеджмент, картограмма нагрузок, социальная ответственность, расчетная нагрузка

Исследуемым объектом является цех по ремонту электровозов локомотивного депо.

Цель работы: разработка системы электроснабжения промышленного предприятия. Экономическое обоснование принятых решений.

В проектировании, выбора метода расчёта, произведен на основе исходных данных, а так же выбор оборудования и его проверка при различных режимах работы, поэтапный расчет электрических нагрузок завода и рассматриваемого цеха. В ходе работы, спроектирована модель электроснабжения промышленного предприятия и представлен расчет суммы затрат и безопасность жизнедеятельности для окружающей среды.

Основные технико-эксплуатационные, технологические и конструктивные характеристики: проектируемый завод состоит из тринадцати цехов, из них восемь цехов относятся ко второй категории по степени надежности электроснабжения; напряжение питающей линии 35 кВ; рабочие напряжения внутри завода: 10, 0,4 кВ; схема внутривозводской сети – радиальная.

Область применения: предприятие по ремонту путейной техники и тепловозов с нормальной средой в производственных помещениях.

## Оглавление

Введение	10
1 ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	12
2 РАСЧЕТЫ И АНАЛИТИКА	16
2.1 Определение расчетной электрической нагрузки цеха по ремонту электровозов	16
2.2 Определение расчетной нагрузки предприятия в целом	22
2.3 Картограмма и определение центра электрических нагрузок	23
2.4 Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций	27
2.5 Компенсация реактивной мощности на шинах 0,4 кВ цеховых ТП и уточнение их нагрузки	29
2.5.1 Распределение мощности батарей конденсаторов по узлам нагрузки цеховой сети напряжением до 1кВ	32
2.6 Компенсация реактивной мощности на шинах 10 кВ ГПП	35
2.7 Система внешнего электроснабжения	35
2.8 Схема внутривозового электроснабжения	39
2.9 Расчет токов короткого замыкания в сети выше 1000 В	51
2.10 Выбор и проверка электрических аппаратов и токоведущих частей в сети выше 1000 В	59
2.11 Электроснабжение цеха по ремонту электровозов	55
2.11.1 Распределение приемников по пунктам питания	56
2.12 Выбор и проверка электрических аппаратов и токоведущих частей до 1кВ	58
2.13 Выбор сечений линий питающей сети цеха	63
2.14 Выбор сечений распределительной сети цеха	66
2.14.1 Расчет питающей и распределительной сети по условиям допустимой потери напряжения. Построения эпюры отклонений напряжения	69
2.15 Расчёт токов короткого замыкания в сети до 1000 В	75
2.16 Построение карты селективности действия аппаратов защиты для участка цеховой сети	78
3 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	81
3.1 Организация работ технического проекта	81
3.2 Определение трудоемкости выполнения технического проекта	83
3.3 Определение сметы проекта	85
3.3.1 Заработная плата исполнителей проекта	85



3.3.2 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	88
3.3.3 Накладные расходы	88
3.4 Расчет стоимости технических средств	89
3.5 Определение ресурсоэффективности проекта	91
4 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	94
4.1 Описание рабочей зоны	94
4.2 Анализ опасных и вредных факторов	94
4.3 Производственная санитария	95
4.3.1 Воздух рабочей зоны	95
4.3.2 Вентиляция	96
4.3.3 Защита от шума и вибрации	97
4.3.4 Освещение	97
4.4 Электробезопасность	98
4.4.1 Защита от случайного прикосновения	99
4.4.2 Защитное заземление	100
4.4.3 Зануление	102
4.5 Пожарная безопасность	103
4.6 Охрана окружающей среды	104
4.7 Эвакуация людей из зданий и помещений	105
Заключение	106
Список используемых источников	108
Приложение А. Однолинейная схема цеха по ремонту электровозов	109
Приложение Б. Определение полной нагрузки предприятия в целом	110
Приложение В. Расчетные нагрузки цеха по ремонту электровозов	114

## **Введение**

Система электроснабжения промышленного предприятия является подсистемой энергосистемы, обеспечивающей комплексное электроснабжение коммунальных, промышленных, транспортных и сельскохозяйственных потребителей данного участка. Система электроснабжения промышленного предприятия является подсистемой технологической системы производства данного предприятия, предъявляя определенные требования к электроснабжению.

Система электроснабжения предприятия должна обеспечивать удобство и безопасность в обслуживании, необходимое качество электроэнергии и бесперебойность электроснабжения в нормальном и послеаварийном режимах. Наряду с этим, система электроснабжения должна оставаться достаточно экономичной. Довольно серьезные дополнительные требования предъявляют электроприемники с резкопеременной ударной нагрузкой и потребители, требующие исключительно бесперебойного питания при любых режимах работы. Для выполнения всех вышеизложенных условий необходимо еще на стадии проектирования обеспечить построение оптимальной системы электроснабжения.

Целью данной работы является проектирование системы электроснабжения промышленного предприятия с учетом основных требований, предъявляемых к системам электроснабжения (надежность, простота, экономичность), роста электрических нагрузок, дальнейшей перспективы развития предприятия или изменения и усовершенствования технологического процесса. Основной целью выполнения квалификационной работы является проверка усвоения дисциплин, предусмотренных учебным планом, и развитие способности самостоятельно решать практические вопросы проектирования систем электроснабжения.

В качестве объекта проектирования выбрано локомотивное депо в целом и цех по ремонту электровазов в частности. Данный вид производства предполагает наличие нагрузки как второй так и третьей категории по степени надежности электроснабжения. В состав депо входят различные цеха, выполняющие определенную роль.

Процесс выполнения проекта предусматривает несколько этапов:

Во-первых, расчет нагрузки цеха по ремонту электровазов производится методом упорядоченных диаграмм.

Во-вторых, по расчетным активным и реактивным нагрузкам цехов производится определение расчетной нагрузки предприятия в целом с учетом расчетной нагрузки территория предприятия и освещения цехов, линиях и трансформаторах цеховых подстанций, потерь мощности в ГПП. Для высоковольтных и низковольтных нагрузок, расчет производится отдельно.

В-третьих, для определения наиболее оптимального места расположения ГПП на территории депо, произведем построение картограммы электрических нагрузок.

В-четвертых, расчет схемы для внутризаводского электроснабжения. На данном этапе для трансформаторных подстанций и схем их электроснабжения цеха производится выбор числа и мощности.

В-пятых, выбор сечения проводов, напряжения питающей сети депо, выбор мощности трансформаторов ГПП.

В-шестых, для проверки правильности выбора сечений проводников производится расчет токов короткого замыкания в сети выше 1000В

На последнем этапе, производится расчет электроснабжения цеха по ремонту электровазов.

Выбор в качестве объекта исследования отдельно взятого цеха позволяет наиболее детально рассмотреть структуру электроснабжения промышленного предприятия.

## 1.ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования является локомотивное депо в целом и его цех по ремонту электровозов в частности.

Исходными данными на проектирование являются генплан локомотивного депо (изображен на рисунке 1.1), характеристика производственных помещений (таблица 1.1), сведения об электрических нагрузках цеха по ремонту электровозов (таблица 1.2), план цеха по ремонту электровозов (рисунок 1.2)

Таблица 1.1 – Характеристика производственных помещений

№ цеха на генплане	Наименование цехов	Установленная мощность,кВт	Категория ЭП
1.	Цех по ремонту тепловозов	1780	II
2.	Цех по ремонту путейской техники	930	II
3.	Цех по ремонту электровозов	--	II
4.	Административный корпус	450	III
5.	Бытовой корпус	100	III
6.	Склад кислородных баллонов	200	II
7.	Склад баллонов сжиженного газа	150	II
8.	Материальный склад	70	III
9.	Компрессорная 10 кВ 0,38 кВ	6400 850	II
10.	Раздаточная ГСМ	400	II
11.	Склад песка	350	III
12.	Пескосушилка	460	III
13.	Насосная 10 кВ 0,38 кВ	2500 1200	II

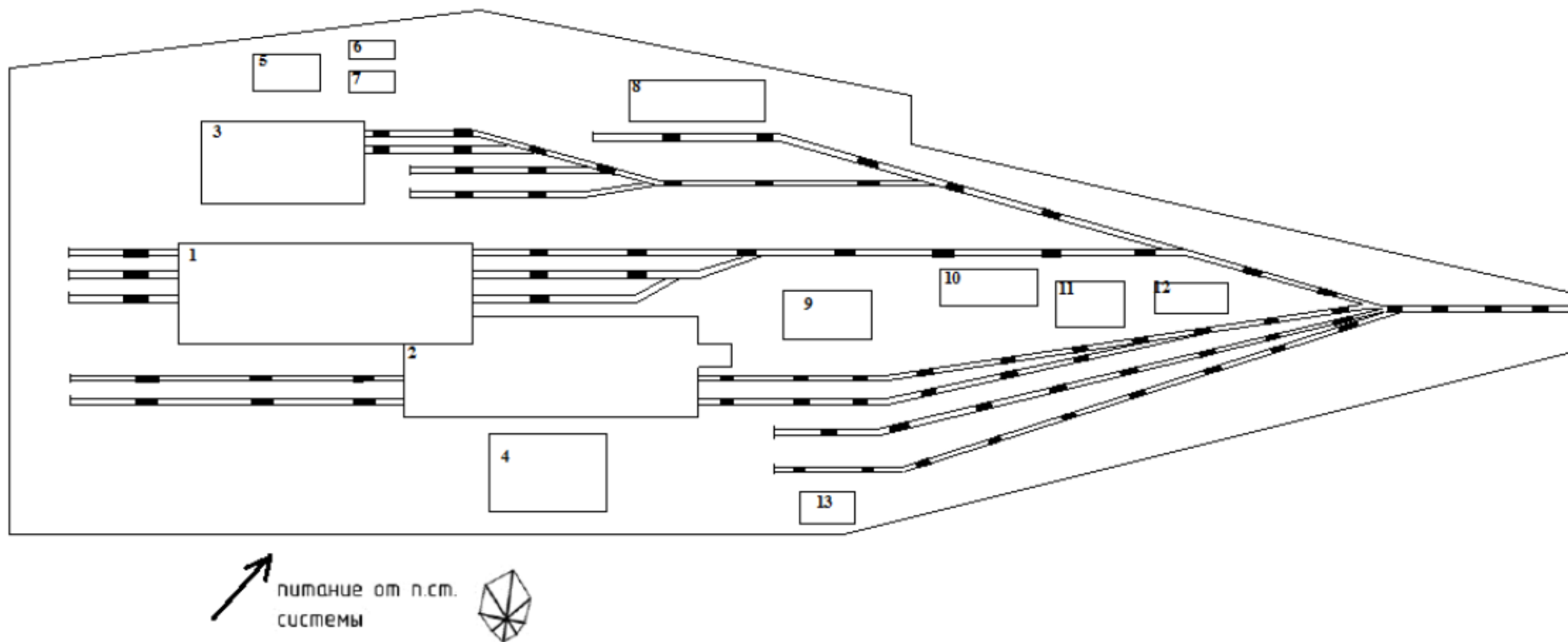


Рисунок 1.1 – Генеральный план локомотивного депо

Таблица 1.2 – Сведения об электрических нагрузках цеха по ремонту электровазозов

Номер на плане	Наименование электроприемника	Установленная мощность ЭП, кВт
1	Сварочный трансформатор	20
2	Зарядное устройство	15
3	Сварочный трансформатор ПВ=40 %	20
4	Зарядное устройство	15
5-8	Домкрат	15
9	Кран–балка	30
10-11	Механический пресс	3,5
12	Сверлильный станок	2
13	Точильный станок	5,5
14	Выпрямитель	8
15-17	Сварочный трансформатор	20
18	Вертикально-сверлильный станок	5
19,20	Фрезерный станок	3
21	Пресс фрикционный	10
22-25	Испытательный стенд	5,5
26-27	Муфельная печь	15
28	Вулканизационный станок	3
29-30	Сварочный трансформатор	20
31	Кран–балка	10
32	Кран–балка	7,5
33	Вертикально-сверлильный станок	5
34	Сварочный трансформатор	20
35-36	Фрезеровочный станок	3
37	Кран–балка	10
38	Выпрямитель	20
39	Координатно–расточный станок	22
40	Трубогибочный станок	7,5
41	Рельсореальный станок	7,5
42,43	Фрезерный станок	15
44-46	Шлифовальный станок	7,5
47	Точильный станок	5,5
48	Токарный станок	15
49,50	Гидравлический пресс	15
51	Сварочный трансформатор	20
52	Кран–балка	15
53	Сварочный трансформатор	10
54	Электромолот	20
55	Электродпечь	30
56,57	Вентилятор горна	15
58,59	Кран–балка	10
60,61	Токарный станок	15
62,63	Вентилятор	20
64-70	Вентилятор	7,5

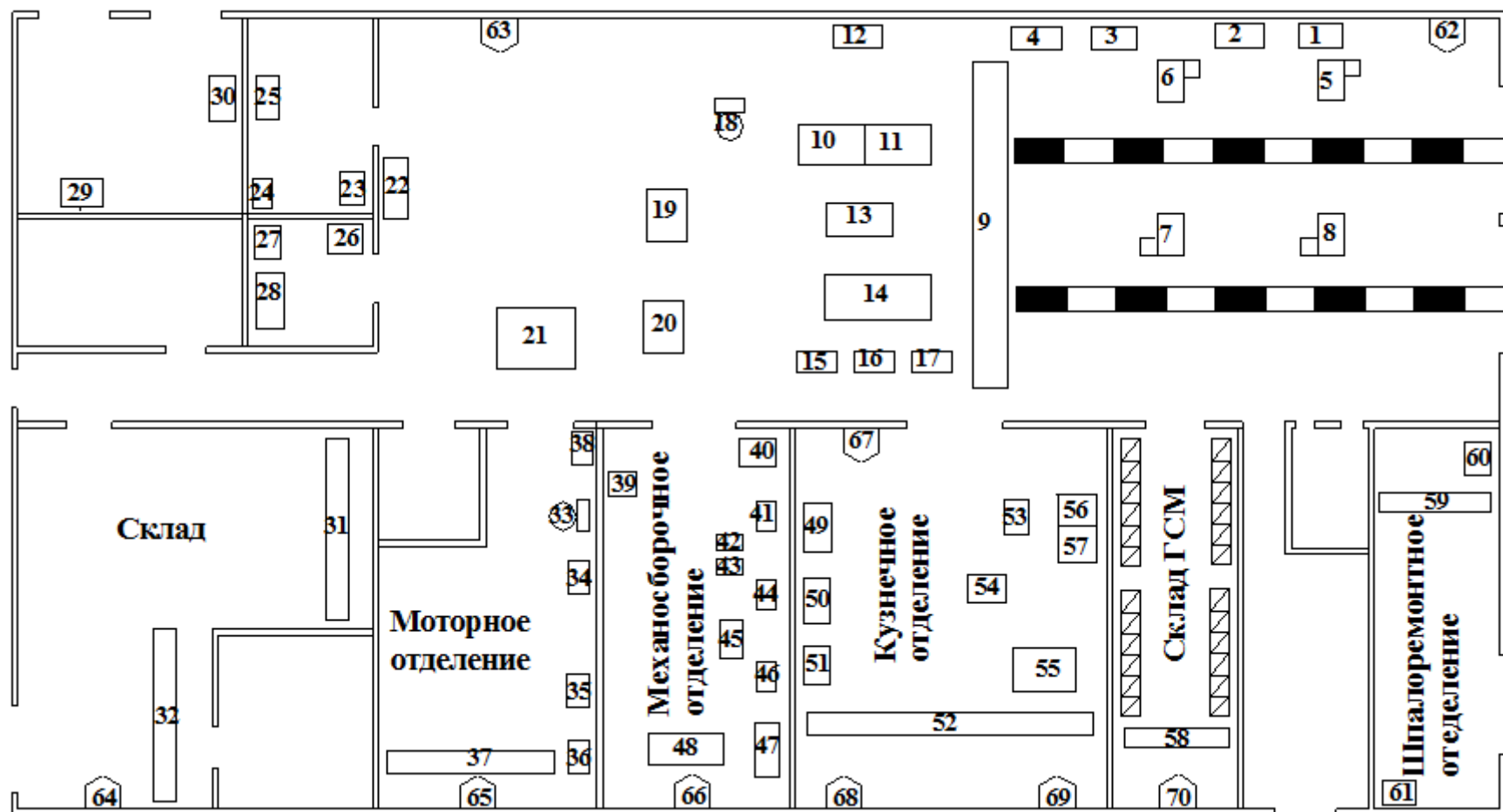


Рисунок 1.2 - План цеха по ремонту электровозов

## 2. РАСЧЕТЫ И АНАЛИТИКА

### 2.1. Определение расчетной электрической нагрузки цеха по ремонту электровозов.

Расчет силовых нагрузок цеха производим методом упорядоченных диаграмм в следующей последовательности.

Для расчетов электрических нагрузок будем использовать таблицу 1.2.

Расчет средней активной нагрузки за наибольшую загруженную смену для каждой группы электроприемников определяется по формуле (на примере станков разных):

$$P_{см} = K_u \cdot P_{ном}, \text{ кВт}; \quad (2.1)$$

где  $P_{ном}$  – номинальная суммарная активная мощность рабочих электроприемников;

$K_u$  – коэффициент потребления активной мощности;

Средняя реактивная нагрузка за наиболее загруженную смену для каждой группы электроприемников определяется по формуле:

$$Q_{см} = P_{см} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \text{ кВар}; \quad (2.2)$$

где  $\operatorname{tg} \varphi$  - определяется по соответствующему значению коэффициента мощности.

Средневзвешенный коэффициент использования определяется по формуле:

$$K_{u.ср} = \frac{\sum P_{см}}{\sum P_{ном}}; \quad (2.3)$$

где  $\sum P_{см}$  - суммарная средняя активная нагрузка за наиболее загруженную смену, а  $\sum P_{ном}$  – суммарная установленная мощность группы электроприёмников цеха.

По кривым в зависимости от средневзвешенного коэффициента использования  $K_{u.ср}$  и эффективного числа электроприемников  $n_{э}$  для данной группы определяется коэффициента максимума активной мощности:



$$n_9 = \frac{\left[ \sum_1^n P_{ном} \right]^2}{\sum_1^n P_{ном}^2} \quad (2.4)$$

Расчетная активная  $P_m$  и реактивная  $Q_m$  максимальные мощности группы:

$$P_m = K_m \cdot P_{см}, \text{ кВт} \quad (2.5)$$

$$Q_m = Q_{см} \text{ при } n_9 > 10$$

$$Q_m = 1.1 Q_{см} \text{ при } n_9 \leq 10 \quad (2.6)$$

Расчётная нагрузка осветительных приёмников цеха определяется по установленной мощности и коэффициенту спроса:

$$P_{p.o.} = P_{н.o.} \cdot K_{c.o.}, \quad (2.7)$$

где  $K_{c.o.}$  принимается по справочнику,

$$P_{н.o.} \text{ находится как: } P_{н.o.} = P_{уд.o.} \cdot F,$$

где  $P_{уд.o.}$  – удельная плотность осветительной нагрузки, Вт/м<sup>2</sup>

(принимается по справочнику);

F – площадь цеха, м<sup>2</sup> (определяется по генплану).

Полная расчётная нагрузка цеха (с учётом освещения) определяется:

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{p.o.})^2 + Q_p^2} \quad (2.8)$$

Расчётный ток:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \quad (2.9)$$

Таблица 2.1. – Справочные данные для ЭП цеха по ремонту электровозов

Номер на плане	Наименование электроприемника	Установленная мощность ЭП, кВт	Ки	cosφ	tg φ	Группа ЭП
1,15-17,29-30,34,51	Сварочный трансформатор	20	0,25	0,35	2,68	А
2,4	Зарядное устройство	15	0,2	0,8	0,75	А
3	Сварочный трансформатор ПВ=40 %	12,6	0,25	0,4	2,3	А
5-8	Домкрат	15	0,1	0,6	1,33	А
9,52	Кран–балка	30	0,06	0,5	1,73	А
10-11	Механический пресс	3,5	0,17	0,5	1,73	А
12	Сверлильный станок	2	0,12	0,5	1,73	А
13,47	Точильный станок	5,5	0,12	0,5	1,73	А
14	Выпрямитель	8	0,6	0,6	1,33	А
18,33	Вертикально-сверлильный станок	5	0,12	0,5	1,73	А
19-20	Фрезерный станок	3	0,12	0,5	1,73	А
21	Пресс фрикционный	10	0,17	0,5	1,73	А
22-25	Испытательный стенд	5,5	0,3	0,7	1,02	А
26-27	Муфельная печь	15	0,5	0,95	0,33	А
28	Вулканизационный станок	3	0,12	0,5	1,73	А
31,37,58,59	Кран–балка	10	0,06	0,5	1,73	А
32	Кран–балка	7,5	0,06	0,5	1,73	А
35-36	Фрезеровочный станок	3	0,12	0,5	1,73	А
38	Выпрямитель	20	0,6	0,6	1,33	А
39	Координатно–расточный станок	22	0,12	0,5	1,73	А
40	Трубогибочный станок	7,5	0,12	0,5	1,73	А
41	Рельсореальный станок	7,5	0,12	0,5	1,73	А
42,43	Фрезерный станок	15	0,12	0,5	1,73	А
44-46	Шлифовальный станок	3	0,12	0,5	1,73	А
48,60,61	Токарный станок	15	0,12	0,5	1,73	А
49,50	Гидравлический пресс	15	0,17	0,5	1,73	А
52	Кран–балка	15	0,06	0,5	1,73	А
53	Сварочный трансформатор	10	0,25	0,35	2,68	А
54	Электролом	20	0,8	0,8	0,75	Б
55	Электрод	30	0,75	0,95	0,33	Б
56,57	Вентилятор горна	15	0,75	0,85	0,62	Б
62,63	Вентилятор	20	0,6	0,6	1,33	Б
64-70	Вентилятор	7,5	0,6	0,6	1,33	Б

\* Данные табл.2.1 приняты согласно [4, табл. П2.1, табл. П2.1,а].

*Примеры расчетов:*

Установленная мощность сварочного трансформатора, приведенная к ПВ=100%:

$$P_{ном} = P_{насп} \cdot \sqrt{ПВ} = 20 \cdot \sqrt{0,4} = 20 \cdot 0,63 = 12,6 \text{ кВт};$$

Средняя активная и реактивная нагрузка для сварочного трансформатора ПР1:

$$P_{см} = K_u \cdot P_{ном} = 0,25 \cdot 12,6 = 3,15 \text{ кВт};$$

$$Q_{см} = P_{см} \cdot \operatorname{tg}(\varphi) = 3,15 \cdot 2,2 = 7,25 \text{ кВАр}$$

Эффективное число электроприемников для ПР1:

$$m = \frac{P_{\max ном}}{P_{\min ном}} = \frac{30}{12,6} = 2,38;$$

где  $m$  – модуль сборки;

$$m \leq 3;$$

Принимаем  $n_э = n_{факт} = 9$ .

Расчетные активная и реактивная мощности ПР1 в соответствии с  $n_э$ :

$$P_p = K_M \cdot P_{см} = 2,2 \cdot 3,15 = 6,93 \text{ кВт};$$

$$Q_p = 1,1 \cdot Q_{см} = 1,1 \cdot 7,25 = 7,98 \text{ кВАр} \quad \text{при } n_э < 10.$$

Коэффициент максимума  $K_M$  определяем по [2, табл.2.1] в функции  $n_э$  и  $K_{и.ср.}$ .

Расчетную нагрузку осветительных приемников цеха определяем по формуле:

$$P_{p.o.} = P_{н.o.} \cdot K_{с.o.},$$

где  $K_{с.o.}$  – коэффициент спроса осветительной нагрузки. Согласно [2, табл. П2.2] принимаем  $K_{с.o.} = 0,95$ ;

$P_{н.o.}$  – номинальная мощность осветительной нагрузки.

$$P_{н.o.} = P_{уд.o.} \cdot F,$$

где  $P_{уд.o.}$  – удельная нагрузка на 1 м<sup>2</sup> площади цеха, принимаем по [1, табл. П3.2.]  $P_{уд.o.} = 3,75 \text{ кВт/м}^2$ ;

$F$  – площадь цеха.

С учетом масштаба определим площади цехов на генплане предприятия

Площадь кузнечно-прессового цеха:

$$F = (a \cdot b) \cdot m^2 = 25 \cdot 13 \cdot 8,8^2 = 25185 \text{ м}^2,$$

Где  $a$  и  $b$  длина и ширина цеха соответственно.

Тогда

$$P_{н.о.} = P_{уд.о.} \cdot F = 3,75 \cdot 25185 = 94,44 \text{ кВт};$$

$$P_{p.o.} = P_{н.о.} \cdot K_{с.о.} = 94,44 \cdot 0,95 = 89,72 \text{ кВт}.$$

$$Q_{p.o.} = P_{н.о.} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 89,72 \cdot 2,68 = 240,45 \text{ кВт}.$$

Полная расчетная нагрузка цеха (с учетом освещения):

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{(P_p + P_{p.o})^2 + (Q_p + Q_{p.o})^2} = \sqrt{(418,55 + 89,72)^2 + (426,92 + 240,45)^2} = 838,89 \text{ кВА}$$

Расчетный максимальный ток:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{\sqrt{(P_{цеха})^2 + (Q_p)^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = \frac{\sqrt{(428,84^2 + 448,47^2)}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 943,87 \text{ А}.$$

С помощью приведённых расчётов, была определена общая мощность цеха по ремонту электровозов, а также найдены пиковые токи групп электроприемников и расчетный ток нагрузки. Данные расчеты используются для правильного выбора коммутационных и защитных аппаратов, а так же сечений линий.

Таблица расчетных нагрузок цеха по ремонту электровозов приведена в приложении А.

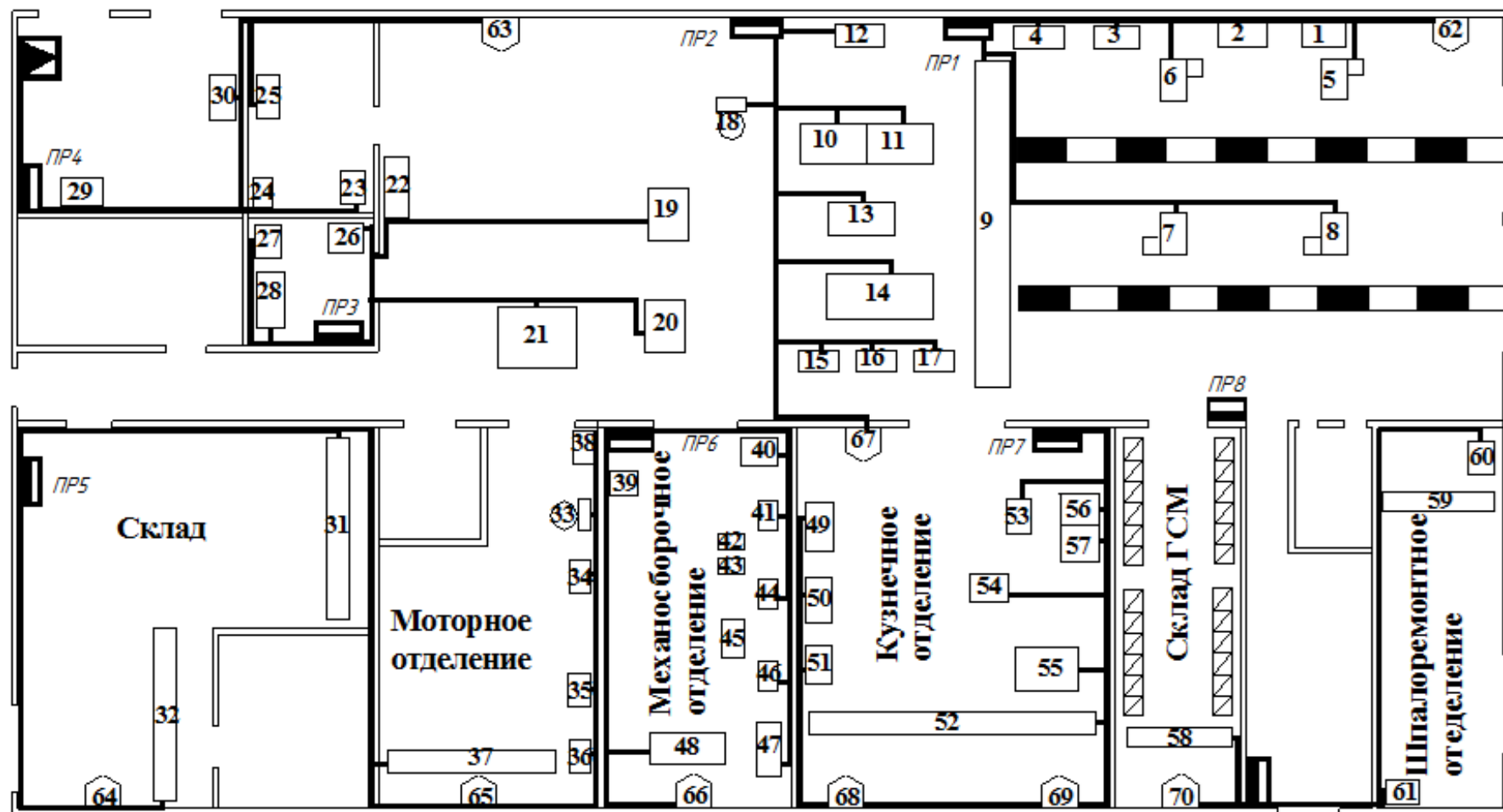


Рисунок 2.1 – План цеха с расположением ПР и подключением ЭП.

## 2.2.Определение расчётной нагрузки предприятия в целом

Цель расчета – нахождение расчетной активной, реактивной и полной мощностей, необходимых для выбора сечения распределительных сетей а так же защитной и коммутационной высоковольтной аппаратуры, числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций.

Расчётная нагрузка (активная и реактивная) силовых приёмников цехов определяются из выражений:

$$P_p = K_c \cdot P_n; \quad (2.10)$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2.11)$$

где  $P_n$  – суммарная мощность установленная для всех приёмников цеха;

$K_c$  – принимаемый по справочным данным, коэффициент спроса;

$\operatorname{tg} \varphi$  – коэффициент мощности принимаемый по соответствующему значению коэффициента мощности;

*Пример расчетов для цеха по ремонту электровозов:*

Расчётные активная и реактивная нагрузки силовых приёмников цеха:

$$P_p = K_c \cdot P_n = 0,5 \cdot 837,1 = 418,55 \text{ кВт};$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi = 418,55 \cdot 1,02 = 426,92 \text{ кВАр}.$$

Номинальная мощность осветительной нагрузки цеха:

$$P_{н.о.} = P_{уд.о.} \cdot F = 3,75 \cdot 25185 = 94,44 \text{ кВт}.$$

Расчетная нагрузка от освещения:

$$P_{р.о.} = P_{н.о.} \cdot K_{с.о.} = 94,44 \cdot 0,95 = 89,72 \text{ кВт}.$$

Полная расчетная нагрузка цеха:

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{р.о.})^2 + (Q_p + Q_{р.о.})^2} = \sqrt{(418,55 + 89,72)^2 + (426,92 + 240,45)^2} = 838,89 \text{ кВА}$$

Расчеты по определению расчетной нагрузки предприятия в целом приведены в приложении Б.

### 2.3.Картограмма и определение центра электрических нагрузок

Картограмма нагрузок строится для упрощения нахождения мест расположения цеховых ТП, РП, а так же ГПП. Нагрузки цехов в виде картограммы электрических нагрузок изображаем на генплане предприятия.

Графическое изображение нагрузок цехов на картограмме, представляет собой окружности, площади которых соответствуют в выбранном масштабе, расчетным нагрузкам.

Для отображения на картограмме нагрузок цехов рассчитаем радиус окружностей для каждого из цехов.

Радиусы окружностей для каждого цеха определяем из выражения:

$$r_i = \sqrt{\frac{P_{pi}}{\pi \cdot m}}, \quad (2.12)$$

где  $P_{pi}$  – расчётная активная мощность с учётом освещения  $i$  – го цеха, кВА;  $m$  – масштаб для расчета площади круга, кВА/мм<sup>2</sup> (постоянный для всех цехов предприятия).

Считаем, что распределение нагрузки по цеху равномерное, исходя из этого центр нагрузок совпадает с центром тяжести фигуры, изображающей цех в плане.

В виде сектора круга наносим осветительную нагрузку, который изображает нагрузку до 1000 В. Из соотношения полных расчётных ( $P_{pi}$ ) и осветительных нагрузок ( $P_{po}$ ) цехов определяем угол сектора ( $\alpha$ ):

$$\alpha = \frac{360^\circ \cdot P_{po}}{P_{pi}} \quad (2.13)$$

На генплан локомотивного депо наносим произвольно оси координат и определяем значения  $x_i$  и  $y_i$  для каждого цеха. Координаты центра электрических нагрузок предприятия  $x_0$  и  $y_0$  определяем по формулам:

$$x_0 = \frac{\sum P_{pi} \cdot x_i}{\sum P_{pi}} \quad (2.14)$$

$$y_o = \frac{\sum P_{pi} \cdot y_i}{\sum P_{pi}} \quad (3.15)$$

Расчетные данные для построения картограммы нагрузок приведены в таблице 2.2. Генплан предприятия с картограммой нагрузок представлен на рисунке 1.1 .

Таблица 2.2 – Расчетные данные для построения картограммы нагрузок

№ цеха на генпла не	P <sub>pi</sub>	P <sub>po</sub>	r	α	x <sub>i</sub>	y <sub>i</sub>	Вероятность появления нагрузки P <sub>x<sub>i</sub></sub> = P <sub>y<sub>i</sub></sub>	Примечан ия
	кВт	кВт	см	град	см	см	о.е	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Потребители 0,38 кВ								
1	1068	199.5	1.16	56.67	5	3.8	0.11127	m=300 кВт/см²
2	744	192.1	0.9969	73.865	8.5	2.2	0.08217	
3	418.6	89.72	0.7346	63.548	4.3	5.9	0.04462	y <sub>0</sub> = 3,99 (см)  x <sub>0</sub> = 8,12 (см)
4	225	48.72	0.5391	64.078	8.4	1	0.02403	
5	50	11.97	0.2565	69.537	4.4	7.3	0.0054	
6	60	3.811	0.2603	21.501	5.7	7.7	0.0056	
7	45	4.044	0.2282	29.686	5.7	7.1	0.004305	
8	17.5	36.43	0.2393	243.19	10.7	6.9	0.004734	
9	595	45.65	0.8247	25.651	12.7	3.5	0.056238	
10	160	22.77	0.4405	44.846	15.3	3.9	0.016044	
11	87.5	12.01	0.325	43.447	16.8	3.6	0.008735295	
12	161	12.99	0.4298	26.87	18.3	3.7	0.015273113	
13	840	10.42	0.9502	4.4128	12.75	0.4	0.07465335	
Потребители 10 кВ								
9	4480	3360	2.1807 9		12.7	3.5	0.393271	
13	1750	1312.5	1.363		12.75	0.4	0.15362136	

*Пример расчетов для цеха по ремонту электровозов:*

Радиус окружности:

$$r_1 = \sqrt{\frac{P_{p1}}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{508,27}{3,14 \cdot 300}} = 0,73 \text{ см}$$

Угол сектора осветительной нагрузки:



$$\alpha_1 = \frac{360^\circ \cdot P_{p.o}}{P_{p1}} = \frac{360^\circ \cdot 89,72}{508,27} = 63,55 \text{ град.}$$

Так как расположить ГПП в центре электрических нагрузок невозможно (координаты ЦЭН совпадают с местоположением 2-го цеха), смещаем его в сторону. Фактические координаты расположения ГПП следующие  $x_0 = 570$  (м)  $y_0 = 62$  (м).

### Построение зоны рассеяния ЦЭН

Полуоси эллипса:

$$R_x = \frac{\sqrt{3}}{h_x}; \quad R_y = \frac{\sqrt{3}}{h_y};$$

$$\text{Где } h_x = \frac{1}{\sigma_x \cdot \sqrt{2}}; \quad h_y = \frac{1}{\sigma_y \cdot \sqrt{2}}.$$

$\sigma_x, \sigma_y$  дисперсии случайных координат.

*Для цеха по ремонту электровозов:*

$$\sigma_x^2 = \sum_{i=1}^n P_{xi} \cdot (x_i - x_{0a})^2 = 10,99;$$

$$\sigma_y^2 = \sum_{i=1}^n P_{yi} \cdot (y_i - y_{0a})^2 = 2,65.$$

Где  $P_{xi}, P_{yi}$  - эмпирическая вероятность появления  $x_i, y_i$  в о.е.

$$P_{xi} = P_{yi} = \frac{P_i}{\sum_{i=1}^n P_i}$$

$$R_x = \frac{\sqrt{3}}{h_x} = \frac{\sqrt{3}}{0,21} = 81,2 \text{ мм}; \quad R_y = \frac{\sqrt{3}}{h_y} = \frac{\sqrt{3}}{0,43} = 39,9 \text{ мм};$$

Полученный результат изобразим на рисунке 2.2

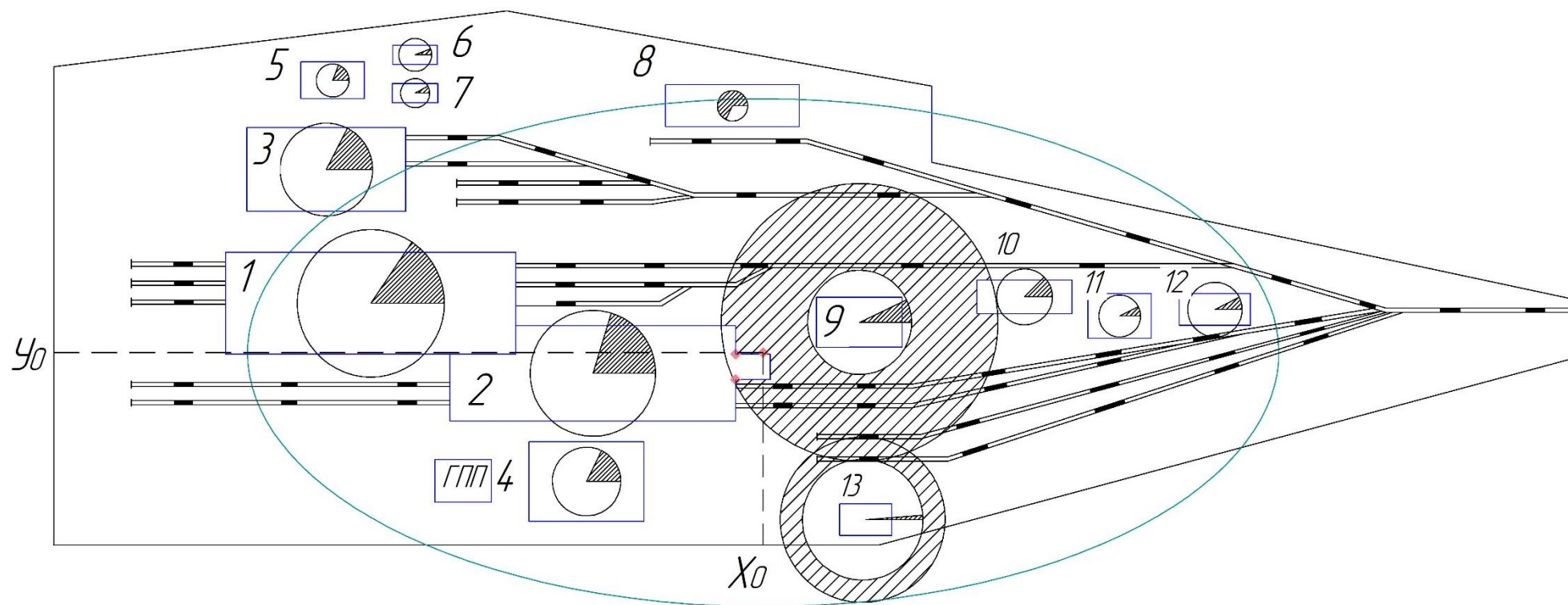


Рисунок 2.2- Генплан предприятия с картограммой нагрузок и ЦЭН.

## 2.4. Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций

При установке группы цеховых трансформаторов на крупных промышленных предприятиях их номинальная мощность выбирается единой для всей группы трансформаторов и определяется с учётом плотности нагрузки. Определить удельную плотность нагрузки можно при помощи формулы:

$$\sigma = \frac{S_{\text{пнн}}}{F_{\text{ц}}} = \frac{7687,17}{210906} = 0,036 \text{ кВА} / \text{м}^2, \quad (2.16)$$

где  $F_{\text{ц}}$  – площадь всех цехов предприятия,  $\text{м}^2$ .

Так как  $\sigma < 0,1$  то в соответствии с рекомендациями принимаем номинальную мощность одного трансформатора  $S_{\text{н тр}} = 630 \text{ кВА}$  [4].

Придерживаясь при этом требуемого коэффициента загрузки: для потребителей I-категории  $\beta = 0,65 - 0,7$ , для потребителей II-категории  $\beta = 0,7 - 0,8$ , для потребителей III-категории  $\beta = 0,9 - 0,95$ . Расчёт коэффициента загрузки в предварительном выборе трансформаторов производим по активной мощности.

Расчетное число трансформаторов, определяется по формуле:

$$N_{\text{min}} = \frac{\sum (P_p^{\text{н}} + P_{\text{п.о.}})}{\beta_m \cdot S_{\text{н.мп}}} + \Delta N, \quad (2.17)$$

где  $\beta_m$  – в нормальном режиме коэффициент загрузки трансформаторов (принимаем 0,7 согласно [4]).

$\Delta N$  – добавка до ближайшего целого числа;

$\sum P_p^{\text{н}}$  – номинальная расчётная активная мощность в сетях до 1000 В, кВт.

Определяем расчетное число трансформаторов:

$$N_{\text{min}} = \frac{5161,64}{0,7 \cdot 630} = 11,7;$$

$$\Delta N = 0,3$$

Экономически оптимальное число трансформаторов:

$$N_{\text{тр.эф}} = N_{\text{min}} + m,$$

$m$ - дополнительно число трансформаторов. В нашем случае  $m=1$  согласно кривым определения дополнительного числа трансформаторов. Также это обусловлено удобством расположения трансформаторов в депо рис.2.3.[1]

Принимаем количество трансформаторов равное 13.

Осуществить равномерное распределение активных нагрузок цехов между ними, можно после выбора мощности и числа имеющихся цеховых трансформаторов. Определить активную нагрузку, приходящуюся на один цеховой трансформатор можно по следующей формуле:

$$P_1 = \frac{\sum (P_p + P_{p.o})}{N} \quad (2.18)$$

$$P_1 = \frac{5161,64}{13} = 430,137; \text{ (кВт)}$$

Число трансформаторов  $N_i$ , которое следует установить в том или ином цехе, определяется делением нагрузки цеха  $(P_p + P_{p.o})_i$  на  $P_1$ :

$$N_i = \frac{(P_p + P_{p.o})_i}{P_1} \quad (2.19)$$

$$N_1 = \frac{1267,5}{430,14} = 2,94;$$

Выполним систематизацию расчета путем отображения полученного числа трансформаторов , устанавливаемых в каждом цехе с помощью таблицы 2.3

Таблица 2.3 – Распределение трансформаторных подстанций по цехам

№ цеха на генплане	КТП	Количество и мощность трансформаторов
1	КТП-1.1 КТП-1.2	2хТМ – 630/6-10 1хТМ – 630/6-10
2	КТП-2	2хТМ – 630/6-10
3	КТП-3	1хТМ – 630/6-10
4	КТП-4	1хТМ – 630/6-10
6	КТП-6	1хТМ – 630/6-10
9	КТП-9	2хТМ – 630/6-10
11	КТП-11	1хТМ – 630/6-10
13	КТП-13	2хТМ – 630/6-10

## 2.5. Компенсация реактивной мощности на шинах 0,4 кВ цеховых ТП и уточнение их нагрузки

Для снижения потерь в линиях и трансформаторах примем вариант компенсации реактивной мощности на напряжении 0.4 кВ непосредственно вблизи электроприёмников. КБ присоединяем к сборным шинам НН КТП и РУ.

Передаваемую через трансформаторы реактивную мощность, которую можно передать через трансформаторы КТП в сеть напряжением до 1000 В при заданном коэффициенте загрузки, определяется соотношением

$$Q_{\max} = \sqrt{(n \cdot \beta \cdot S_{н.м})^2 - P_p^2} \quad (2.20)$$

где  $n$  – число трансформаторов на ТП;

$\beta = 0,7$  – коэффициент загрузки трансформаторов в нормальном режиме;

$S_{н.м}$  – номинальная мощность трансформаторов, установленных на ТП;

$P_p$  – расчетная активная нагрузка ТП на шинах 0,4 кВ.

Коэффициент загрузки трансформаторов по возможности принимаем близким к 0.65-0.7, так как при этом обеспечивается его максимальный КПД.

$$Q_{\max} = \sqrt{(13 \cdot 0,7 \cdot 630)^2 - 5161,64^2} = 2494,94 \text{ кВАр};$$

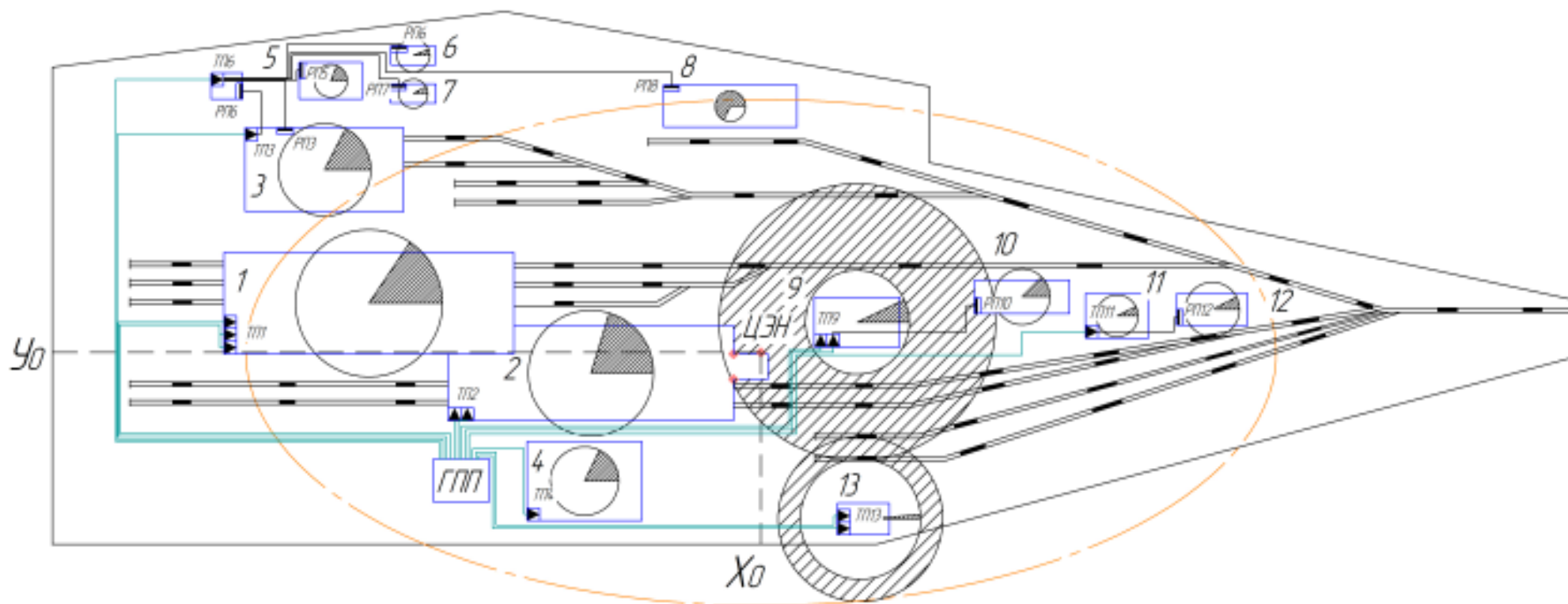


Рисунок 2.3. – Ген.план с распределением трансформаторных подстанций по цехам

Суммарная мощность батарей, для данной группы трансформаторов ниже 1000 В составит:

$$Q_{БК,Н1} = Q_{р.нн} - Q_{\max}; \quad (2.21)$$

Где  $Q_{р.нн}$  - суммарная расчетная реактивная нагрузка ниже 1000В.

$$Q_{БК,Н1} = Q_{р.нн} - Q_{\max} = 5161,64 - 2494,94 = 2666,71 \text{ кВАр}$$

Определить дополнительную суммарную мощность БК до 1000 В для данной группы трансформаторов  $Q_{БК,Н2}$  можно при помощи формулы:

$$Q_{БК,Н2} = Q_{р.нн} - Q_{БК,Н1} - \gamma \cdot N_{тр.эк} \cdot S_{ном.тр}; \quad (2.22)$$

где  $\gamma$ - является расчетным коэффициентом, который определяется в зависимости от показателей Кр1, Кр2 и схемы питания цеховой подстанции. [1]

$$Q_{БК,Н2} = 5161,64 - 2666,71 - 0,49 \cdot 13 \cdot 630 = -1518,2 \text{ кВАр};$$

Так как  $Q_{БК,Н2} < 0$ , то для указанной группы трансформаторов значение реактивной мощности  $Q_{БК,Н2}$  принимается равной нулю.

$$\text{Значит } Q_{БК,Н} = Q_{БК,Н1} + Q_{БК,Н2} = 2494,94 \text{ кВАр};$$

Выбираем мощность КУ близкую к расчетной реактивной мощности . С условием, что:  $Q_p - Q_{кy} \leq Q_{\max}$

Выбранные конденсаторные установки типа УКМ 58-04 сведем в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Распределение конденсаторных установок

№ цеха на Ген.п	КТП	Количество и мощность трансформаторов	Q <sub>расч</sub> на 1 транс., кВАр	% относит. $\Sigma Q$ , кВАр	Q <sub>БК</sub> , кВАр	Q <sub>БК ф</sub> , кВАр	Q <sub>факт</sub> , кВАр
1	КТП-1.1 КТП-1.2	2хТМ – 630/6-10 1хТМ – 630/6-10	492,21	0.08641	230.42	1×265	227.2
			492,21	0.08641	230.42	1×265	227.2
			492,21	0.08641	230.42	1×50	227.2
2	КТП-2	2хТМ – 630/6-10	585.46	0.1028	274.08	1×300	285.5
			585.46	0.1028	274.08	1×300	285.5
3	КТП-3	1хТМ – 630/6-10	667.37	0.1172	312.42	1×335	332.4
4	КТП-4	1хТМ – 630/6-10	315.32	0.0554	147.62	1×150	165.3
6	КТП-6	1хТМ – 630/6-10	305.49	0.0536	143.01	1×150	155.5
9	КТП-9	2хТМ – 630/6-10	392.07	0.0688	183.54	1×180	212.1
			392.07	0.0688	183.54	1×180	212.1
11	КТП-11	1хТМ – 630/6-10	318.64	0.0559	149.17	1×150	168.6
13	КТП-13	2хТМ – 630/6-10	328.96	0.0577	154.0	1×150	178.9
			328.96	0.0577	154.0	1×150	178.9

### 2.5.1. Распределение мощности батарей конденсаторов по узлам нагрузки цеховой сети напряжением до 1000 В.

Рассмотрим возможность распределения мощности, найденной ранее, конденсаторов до 1000 В в ее сети. Основанием целесообразности данного распределения, является дополнительное уменьшение приведенных затрат при учете технической допустимости подключения отдельных батарей.



Схема питания нагрузок показана на рис.2.4. Реактивные нагрузки каждого распределительного пункта и сопротивления питающих линий указаны в табл.2.7. Суммарная мощность конденсаторных батарей на стороне 0,38 кВ определена расчетом и равна 312,4 кВАр. Из сети 10 кВ передается  $Q=61,2$  кВАр. Распределим конденсаторные установки между распределительными пунктами.

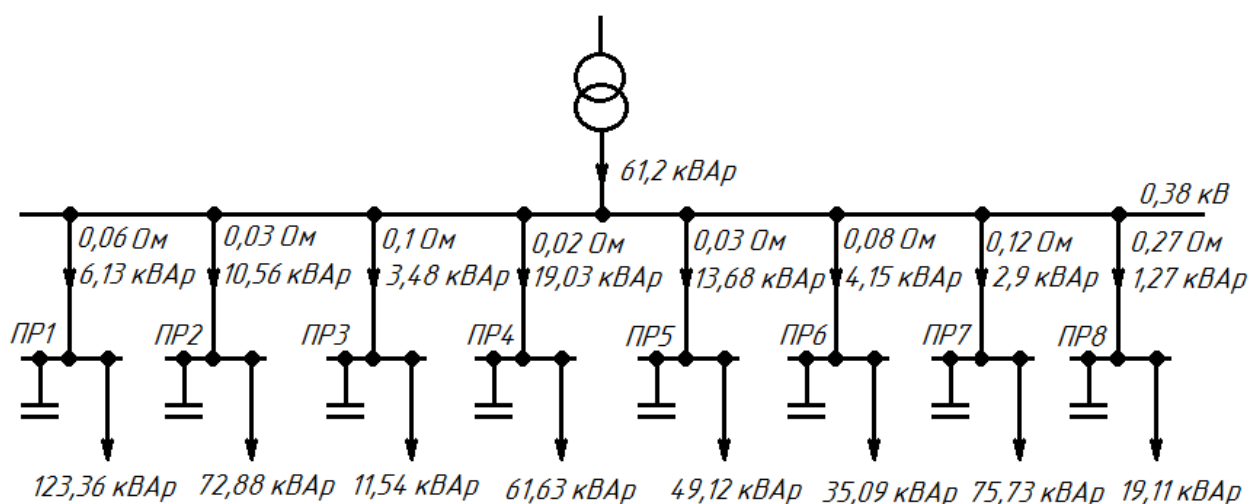


Рисунок 2.4 – Расчетная схема размещения конденсаторных батарей в сетях до 1 кВ.

*Пример расчетов:*

1. Определяем эквивалентное сопротивление сети

$$r_{\text{эк}} = \left( \sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{r_i} \right)^{-1} \quad (2.23)$$

$$r_{\text{эк}} = \frac{1}{\frac{1}{0,06} + \frac{1}{0,03} + \frac{1}{0,1} + \frac{1}{0,02} + \frac{1}{0,03} + \frac{1}{0,08} + \frac{1}{0,12} + \frac{1}{0,27}} = 5,69 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}$$

2. Реактивная мощность передаваемая из сети 10 кВ распределяется между ПР1-ПР8 в соответствии (2.24)

$$Q_i = \frac{Q \cdot r_{\text{эк}}}{r_i}; \quad (2.24)$$

$$Q_1 = \frac{61,2 \cdot 5,69 \cdot 10^{-3}}{0,06} = 6,23 \text{ кВАр}$$

3. Расчетная мощность конденсаторных батарей, устанавливаемых около распределительных пунктов ПР1-ПР8:

$$Q_{БК} = Q_{p1} - Q_1 = 123,36 - 6,23 = 117,12 \text{ кВАр}$$

4. Выбираем конденсаторную установку, мощность которой близка или равна мощности реактивной нагрузки данного ПР.

Для ПР1 выбираем конденсаторную установку типа УКМ58-0,4-112,5-37,5УЗ мощностью 112,5 кВАр.

5. Суммарная мощность намеченных к установке батарей составляет:

$$Q_{БК} = \sum_{i=1}^{i=8} Q_{БКi} = 112,5 + 67 + 0 + 50 + 30 + 30 + 67 + 20 = 376,5 \text{ кВАр}$$

Все расчетные данные и принятые мощности конденсаторных установок сведем в табл.2.5.

Таблица 2.5 - Конденсаторные установки для ПР.

№ шкафа	$Q_{pi}$ , кВАр	$r_i$ , Ом	$Q_i$ , кВАр	$Q_{iБК}$ , кВАр	$Q_{БК \text{ факт}}$ , кВАр	Тип
ПР1	123,36	0,06	6,23	117,12	112,5	УКМ58-0,4-112,5-37,5УЗ
ПР2	72,88	0,03	10,87	62,01	67	УКМ58-0,4-67-33,3УЗ
ПР3	11,54	0,10	3,49	8,05	0	-
ПР4	61,63	0,02	19,59	42,04	50	УКМ58-0,4-50-25УЗ
ПР5	49,12	0,03	13,91	35,21	30	УКМ58-0,4-30-10УЗ
ПР6	35,09	0,08	4,19	30,91	30	УКМ58-0,4-30-10УЗ
ПР7	75,73	0,12	2,9	72,80	67	УКМ58-0,4-67-33,3УЗ
ПР8	19,11	0,27	1,28	17,83	20	УКМ58-0,4-20-10УЗ

Был рассмотрен вариант распределения по узлам нагрузки мощности конденсаторов цеховой сети напряжением до 1000 В. От шин 0,4 кВ трансформаторной подстанции отходят 8 радиальных линий с сопротивлениями  $r_i$ , питающих 8 силовых шкафов с реактивными нагрузками  $Q_{pi}$ , причем  $Q_p = \sum Q_{pi}$  и  $Q_{БК} \leq Q_p$ .

## 2.6. Компенсация реактивной мощности на шинах 10 кВ ГПП

Расчётная реактивная нагрузка в сетях 6/10 кВ промышленных предприятий находится:

$$Q_{тр.неск} = Q_{тр.мах} - Q_{бкН} + \Delta Q_{тр} = 5161,64 - 2840 + 507 = 2828,64 \text{ кВАр}$$

$$Q_{бкВн} = Q_{внрасч} + Q_{тр.неск} + \Delta Q_{ГПП} - Q_c = 6230 + 2828,64 + 1585 - 2705,66 = 6380,23 > 0$$

$Q_{вн расч}$  - расчётная нагрузка приёмников 10 кВ

$Q_c$  - реактивная мощность которую можно взять из системы.

$$Q_c = \alpha \cdot P_p = 11591 \cdot 0,24 = 2705,66 \text{ кВАр}$$

Где  $P_p$  нагрузка на шинах НН трансформаторов ГПП с учетом потерь.

$\alpha$ - коэффициент, учитывающий расположение предприятия. Для Сибири

$\alpha = 0,24$ , при напряжении питающей линии 35 кВ.

$\Delta Q$ - потери реактивной мощности.

Выбираем 2 конденсаторные установки типа УКЛ56-10,5-3150У3 с номинальной мощностью 3150 кВар.

## 2.7. Схема внешнего электроснабжения

Электроснабжение завода осуществляется от подстанции энергосистемы по двум ВЛЭП напряжением 35 кВ(согласно 2.25). При единичном источнике питания в целях резервации применяется схема внешнего электроснабжения по двум радиальным линиям.

Соответственно расчетному центру электрических нагрузок на территории предприятия размещается ГПП. На стороне 10 (кВ) принимаем обходную систему шин секционированную вакуумным выключателем с устройством АВР.

Обоснованность данного решения представлена ниже.

$$U = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L} + \frac{2500}{P_p}}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{8} + \frac{2500}{11,39}}} \approx 57,579 \text{ [1]} \quad (2.25)$$

Так как еще не выбраны трансформаторы ГПП, то потери мощности в трансформаторах определяем следующим образом:

$$\Delta P_{m.ГПП} = 0,02 S_{p\Sigma} = 0,02 \cdot 15847,5 = 316,9 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{m.ГПП} = 0,1 S_{p\Sigma} = 0,1 \cdot 15847,5 = 1585 \text{ кВар}.$$

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{(P_{p\Sigma} + \Delta P_{mp} + \Delta P_{ц.мп} + \Delta P_{10кВ})^2 + (Q_{p\Sigma} + \Delta Q_{mp} + \Delta Q_{ц.мп} + \Delta Q_{10кВ} - Q_{ку})^2} = \\ = 11902 \text{ кВА}$$

где  $Q_{ку}$  – мощность компенсирующих устройств.

Суммарную расчётную мощность предприятия по отношению к высшему напряжению трансформаторов ГПП определяем как:

$$S_{p.ГПП} = \sqrt{(P_{p\Sigma} + \Delta P_{m.ГПП} + \Delta P_{ц.мп} + \Delta P_{10кВ})^2 + (Q_{p\Sigma} + \Delta Q_{m.ГПП} + \Delta Q_{ц.мп} + \Delta Q_{10кВ} - Q_{ку})^2} = \\ = 11902 \text{ кВА}$$

Мощность трансформаторов на ГПП вычисляем при помощи формулы:

$$S_{н.мп.} = \frac{S_{p.ГПП}}{2 \cdot \beta_m}, \quad (2.26)$$

где  $S_{p.ГПП}$  – полная расчётная мощность предприятия со стороны высшего напряжения трансформаторов ГПП;

$\beta_m = 0,7$  – коэффициент загрузки трансформаторов ГПП [3, с. 37]

2 – число трансформаторов на ГПП.

Получаем

$$S_{н.мп.} = \frac{S_{p.ГПП}}{2 \cdot \beta_m} = \frac{11902}{2 \cdot 0,7} = 8501,5 \text{ кВА}$$

Полученное значение  $S_{н.мп.}$  округляем до ближайшего большего стандартного значения и в соответствии с [3, табл. П.2.28] принимаем установку на ГПП двух трансформаторов типа ТДНС 10000/35.

С учетом того, что в нормальном режиме коэффициент загрузки трансформаторов ГПП принимается равным 0,7, в послеаварийном режиме

любой из трансформаторов с учетом допустимой перегрузки (до 40 %) обеспечит полностью необходимую мощность завода, так как

$$S_{p.ГПП} = 11902 \text{ кВА} < 1,4 \cdot S_{н.тр} = 1,4 \cdot 10000 = 14000 \text{ кВА}.$$

Питающие линии выполняются проводом АС. Выбор сечения провода производим по экономической плотности тока

$$I_p = \frac{S_{p.ГПП}}{2\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{11902}{2\sqrt{3} \cdot 35} = 98,17 \text{ А}.$$

В аварийном режиме

$$I_{p.макс} = \frac{S_{p.ГПП}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{11902}{\sqrt{3} \cdot 35} = 196,34 \text{ А}.$$

По таблице 3.12 [4] при  $T_m = 3000 - 5000$  часов для алюминиевых голых проводов принимаем экономическую плотность тока равной  $j_{эк} = 1,1 \text{ А/мм}^2$ .

Экономически целесообразное сечение проводов равно

$$F_{эк} = \frac{I_p}{j_{эк}} \quad (2.27)$$

$$F_{эк} = \frac{98,17}{1,1} = 89,25 \text{ мм}^2$$

Полученное сечение округляем до ближайшего стандартного сечения и принимаем в качестве ВЛЭП провода марки АС – 16/2,7. Допустимый длительный ток для выбранного сечения равен  $I_{дон} = 111 \text{ А}$  [6, табл. 1.3.29].

Выбранное сечение должно удовлетворять условию

$$1,3I_{дон} \geq I_{расч},$$

где 1,3 – коэффициент допустимой перегрузки линии.

$$1,3I_{дон} = 1,3 \cdot 111 = 144,3 \text{ А} > I_{p.макс} = 196,34 \text{ А}, \text{ условие не выполняется.}$$

Увеличиваем сечение провода:

Принимаем провода марки АС – 35/6,2. Допустимый длительный ток для выбранного сечения равен  $I_{дон} = 175 \text{ А}$ .

$$1,3I_{дон} = 1,3 \cdot 175 = 227,5 \text{ А} > I_{p.макс} = 196,34 \text{ А}, \text{ условие выполняется.}$$

Кроме этого, для выбранного сечения провода сделаем необходимые

проверки:

а) по условиям коронирования проводов.

ЛЭП напряжением 35 кВ по условиям коронирования не проверяются;

б) по условиям механической прочности:

$$F_{расч} \geq F_{мин..мех} = 25 \text{ мм}^2.$$

$$F_{расч} = 35 \text{ мм}^2 > F_{мин..мех} = 25 \text{ мм}^2, \text{ условие выполняется};$$

в) по допустимой потере напряжения:

$$l_{доп} = l_{\Delta U 1\%} \cdot \Delta U_{доп\%} \cdot k_z \geq l, \quad (2.28)$$

где  $l_{\Delta U 1\%}$  - длина линии при полной нагрузке на 1 % потери напряжения, км;

$\Delta U_{доп\%}$  - допустимая потеря напряжения, %, ( $\Delta U_{доп\%} = 5\%$ ,  $\Delta U_{доп.ав\%} = 10\%$ );

$k_z = \frac{I_{доп}}{I_p}$  - коэффициент обратный коэффициенту загрузки линии;

$l_{доп}$  - допустимая длина линии, км;

$l$  – фактическая длина линии, км.

Принимаем  $l_{\Delta U 1\%} = 1,34 \text{ км}$  [3, стр.90].

Тогда

$$l_{доп} = l_{\Delta U 1\%} \cdot \Delta U_{доп\%} \cdot k_z = 1,34 \cdot 5 \cdot \frac{175}{98,17} = 11,94 \text{ км}.$$

$$l_{доп} = 11,94 \text{ км} > l = 8 \text{ км}$$

Таким образом, электроснабжение завода от подстанции энергосистемы напряжением 35 кВ, выполненным проводом АС – 35/6,2 на металлических опорах.

На ГПП установлены два трансформатора типа ТДНС – 10000/35.

## 2.8.Схема внутризаводской сети 10 кВ

Распределительная сеть 10 кВ по территории локомотивного депо трехжильными кабелями с алюминиевыми жилами и изоляцией из сшитого полиэтилена с прокладкой в кабельных каналах. Схема внутризаводского электроснабжения приведена на рис.2.5.

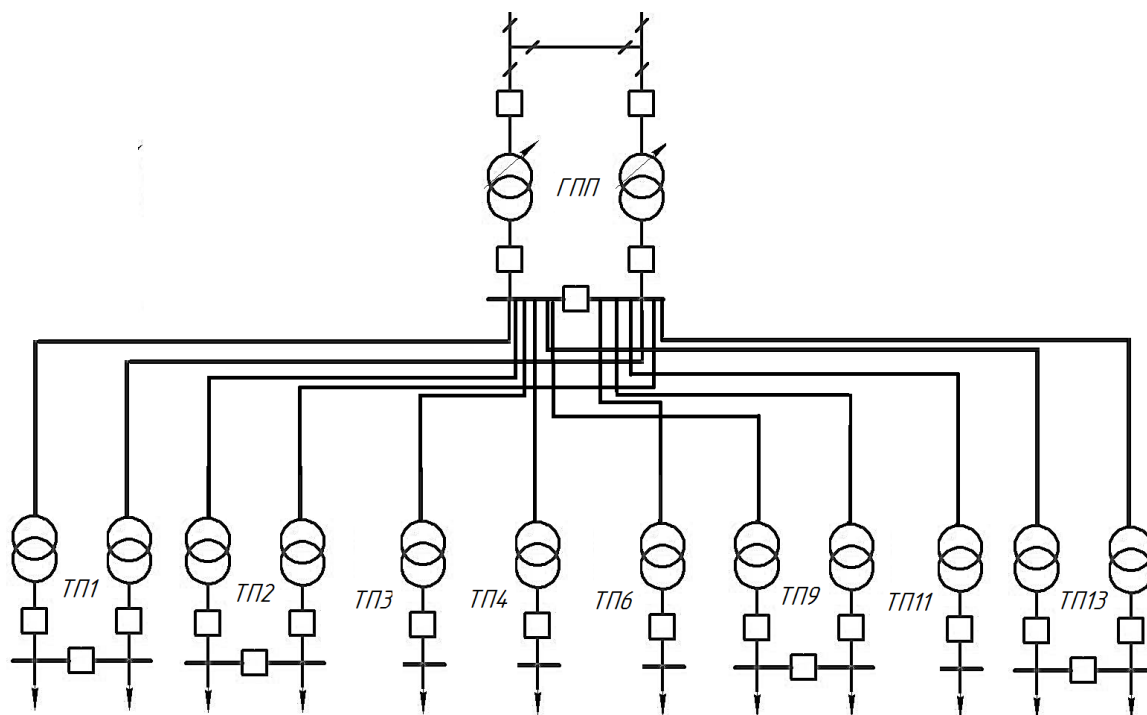


Рисунок 2.5 – Схема внутризаводского электроснабжения

Выбор сечений кабелей производим по экономической плотности тока. Выбранные сечения проверяем по допустимой нагрузке из условий нагрева в нормальном режиме и с учетом допустимой перегрузки в аварийном режиме. Полученное сечение округляем до ближайшего стандартного сечения.

Расчётным током линии для питания цеховых трансформаторов является их номинальный ток, независимо от фактической загрузки.

Экономически целесообразное сечение определяем из выражения:

$$F_{\text{эк}} = \frac{I_p}{j_{\text{эк}}}, \quad (2.29)$$

где  $I_p$  – расчётный ток на один кабель, А;  $j_{\text{эк}}$  – нормированное значение экономической плотности тока, А/мм<sup>2</sup>. Для высоковольтных кабелей с

алюминиевыми жилами и изоляцией из сшитого полиэтилена при  $T_M = (3000-5000)$  часов принимаем  $j_{\text{эк}} = 1,7$  А/мм<sup>2</sup> [4, табл. 3.35].

*Выбор кабеля для линии Л-1 (ГПП – ТП-1)*

$$I_p = \frac{\sqrt{(P_p'' + \Delta P_{\text{мп}})^2 + (Q_p'' + \Delta Q_{\text{мп}})^2}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{\sqrt{(1267,5 + 6,5)^2 + (1476,64 + 32,7)^2}}{\sqrt{3} \cdot 10} = 97,45 \text{ А.}$$

$$\text{Экономически целесообразное сечение } F_{\text{эк}} = \frac{I_p}{j_{\text{эк}}} = \frac{97,45}{1,7} = 57,2 \text{ мм}^2.$$

Так как ближайшее стандартное сечение проходит проверку на термическую стойкость к токам КЗ, то принимаем  $F = 50$  мм<sup>2</sup>:  $I_{\text{дон}} = 195$  А [1, Таблица П.11.5].

При прокладке кабелей в каналах учитываем поправочный коэффициент  $k_{\text{прокл}} = 0,94$  ( $t_{\text{окр ср}} = 25^\circ\text{C}$ ,  $t_{\text{нормжил}} = 65^\circ\text{C}$ ;  $t_{\text{расчср}} = 25^\circ\text{C}$ ) [8, табл. 8.2.10], получаем

$$I'_{\text{дон}} = k_{\text{прокл}} \cdot I_{\text{дон}} = 0,94 \cdot 195 = 183,3 \text{ А.}$$

Проверка выбранного сечения:

$$I_p \leq I'_{\text{дон}}$$

$$97,45 \text{ А} < 183,3 \text{ А};$$

Таким образом, выбранное сечение проходит по нормальному и послеаварийному режимам.

В качестве линии Л-1 принимаем кабель марки АПвП – 1 (3х50).

Результаты расчетов сведем в таблицу 8.1

Результаты расчетов по выбору сечений кабельных линий распределительной сети 0,4 кВ сведены в таблицах 2.6 и 2.7.



Таблица 2.6 -Выбор сечений кабельных линий распределительной сети 10 кВ

№	Номер линии	Назначение линии	Количество линий	Расчетная нагрузка на один кабель		длина линии $l$ , км	Способ прокладки	Поправочный коэффициент прокладки кабеля	Марка и сечение кабеля, выбранного по условию допустимого нагрева $S$ , мм <sup>2</sup>	Допустимая нагрузка на один кабель	
				в нормальном режиме $I_p$ , А	в послеаварийном режиме $I_{п/ав}$ , А					в нормальном режиме $I_{доп}$ , А	в аварийном режиме $1,25I_{доп}$ , А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Л-1	ГПП-ТП1	3	57,45	114,9	0,8	в траншее	0,94	АПвП-1(3×50)	195	243,45
2	Л-2	ГПП-ТП2	2	43,7	87,4	0,08	в траншее	0,94	АПвП-1(3×50)	195	243,45
3	Л-3	ГПП-ТП3	1	38,3		1,155	в траншее	0,94	АПвП-1(3×50)	195	243,45
4	Л-4	ГПП-ТП4	1	38,3		0,08	в траншее	0,94	АПвП-1(3×50)	195	243,45
5	Л-6	ГПП-ТП6	1	38,3		1,19	в траншее	0,94	АПвП-1(3×50)	195	243,45
6	Л-9	ГПП-ТП9	2	19,75	67,2	1,636	в траншее	0,94	АПвП-1(3×50)	195	243,45
7	Л-11	ГПП-ТП11	1	38,3		2,1	в траншее	0,94	АПвП-1(3×50)	195	243,45
8	Л-13	ГПП-ТП13	2	31,7	63,5	0,51	в траншее	0,94	АПвП-1(3×50)	195	243,45

Таблица 2.7 – Выбор сечений кабельных линий распределительной сети 0,4 кВ

№	Номер линии	Назначение линии	Количество линий	Расчетная нагрузка на один кабель	длина линии $l$ , км	Марка и сечение кабеля, выбранного по условию допустимого нагрева $S$ , мм <sup>2</sup>	Допустимая нагрузка на один кабель
				в нормальном режиме $I_p$ , А			в нормальном режиме $I'_{доп}$ , А
1	2	3	4	5 6	7	8	9
9	КЛ2	ТП3-ТП6	1	24,4	0,061	АПвП -1(4×5)	27
10	КЛ3	ТП6-ТП3	1	49,4	0,21	АПвП -1(4×16)	55
11	КЛ5	ТП6-РП5	1	5,7	0,27	АПвП -1(4×2,5)	19
12	КЛ6	ТП6-РП6	2	6,76	0,65	АПвП -1(4×2,5)	19
13	КЛ7	ТП6-РП7	2	5,14	0,114	АПвП -1(4×2,5)	19
14	КЛ8	ТП6-ТП8	1	8,7	0,123	АПвП -1(4×2,5)	19
15	КЛ10	ТП9-РП10	2	17,95	0,29	АПвП -1(4×3)	21
16	КЛ12	ТП11-РП12	1	15,6	0,14	АПвП -1(4×3)	21

## 2.9.Расчёт токов короткого замыкания в сети выше 1000 В

При прохождении токов КЗ по токоведущим частям электрических аппаратов и установок, происходит их разрушение. Соответственно токоведущие части, должны быть выбраны таким образом, чтобы предотвратить их разрушение. В связи с чем возникает необходимость расчёта этих величин.

Расчёт токов КЗ ведётся в относительных единицах. Для этого необходимо все расчётные данные привести к базисному напряжению и базисной мощности.

Величина базисного напряжения  $U_б$  превышает номинальное на 5%. За базисную мощность  $S_б$  принимают любое число кратное 10.

Для расчёта токов КЗ составляется расчётная схема – однолинейная упрощенная схема электроустановки, в которой учитывают все источники питания (п/ст энергосистемы, генераторы ТЭЦ), трансформаторы, воздушные и кабельные линии.

По расчётной схеме составляется схема замещения, в которой указываются сопротивления всех элементов и намечаются точки для расчётов токов КЗ.

Базисные сопротивления в относительных единицах определяются по следующим формулам:

1. сопротивление воздушных и кабельных линий

$$r_{б*} = r_o \cdot l \frac{S_б}{U_б^2}; \quad (2.30)$$

$$x_{б*} = x_o \cdot l \frac{S_б}{U_б^2}, \quad (2.31)$$

где  $r_o$  и  $x_o$  – соответственно активное и индуктивное сопротивление линии на один км длины, Ом/км;

$l$  – длина линии, км.

2. индуктивное сопротивление трансформатора

$$x_{\delta}^* = \frac{U_{\kappa}}{100} \frac{S_{\delta}}{S_{н.тр}}, \quad (2.32)$$

где  $U_{\kappa}$  – напряжение короткого замыкания трансформатора, %;

$S_{н.тр}$  – номинальная мощность трансформатора, мВА.

Индуктивные сопротивления обычно учитываются только для генераторов, трансформаторов, высоковольтных линий. При значительной протяжённости сети (кабельной и воздушной) учитываются также их активные сопротивления. Считается целесообразно учитывать активное сопротивление, если соотношение между суммарными активными  $r_{\Sigma}$  и реактивными  $x_{\Sigma}$  сопротивлениями до места КЗ следующие:  $r_{\Sigma} > x_{\Sigma}/3$ .

Действующее значение установившегося тока КЗ:

$$I_{\kappa} = \frac{I_{\delta}}{Z_{\delta}^* \Sigma}, \quad (2.33)$$

где  $I_{\delta} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3}U_{\delta}}$  – базисный ток

$$Z_{\delta}^* \Sigma = \sqrt{r_{\delta}^{* \Sigma 2} + x_{\delta}^{* \Sigma 2}} \quad (2.34)$$

– полное сопротивление от источника питания до точки КЗ, выраженное в относительных единицах и приведенное к базисной мощности (если активное сопротивление не учитывается, то  $Z_{\delta}^* \Sigma = x_{\delta}^* \Sigma$ ).

Ударный ток КЗ:

$$i_y = I_{\kappa} \cdot \sqrt{2} \cdot K_{y\delta}, \quad (2.35)$$

где  $K_{y\delta}$  – ударный коэффициент.

На термическую устойчивость по величине  $I_{\kappa}$  проверяют электрические аппараты и токоведущие части. По величине  $i_y$  проверяются аппараты на динамическую устойчивость.

Для расчёта токов КЗ принимаем базисные величины:

Согласно [3, стр.44] используя стандартный ряд базисных напряжений, принимаем  $U_{\delta 1} = 37$  (кВ),  $U_{\delta 2} = 10,5$  (кВ).

За базисную мощность, согласно [3, стр.44] принимаем  $S_{\sigma} = 630$  (МВА).

Принимаем, что мощность источника электроэнергии (энергосистемы)  $S_c = \infty$  и соответственно индуктивное сопротивление  $x_c = 0$ .

Расчёт токов КЗ проводим на участке «Система – ГПП – ТП - 3». Для данного участка составляем однолинейную расчётную схему и схему замещения, представленные на рис. 2.6.

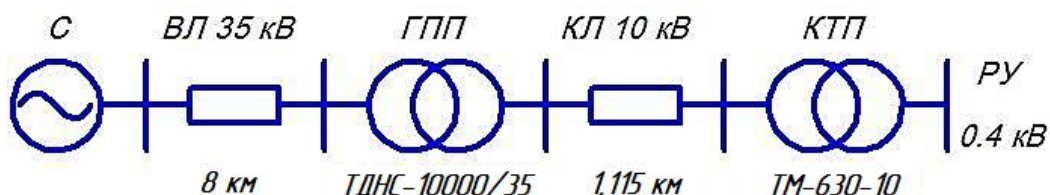


Рисунок 2.5 – Однолинейная расчетная схема сети

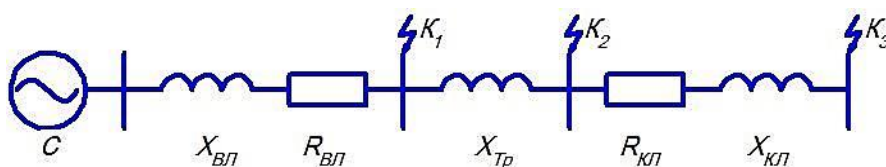


Рисунок 2.7 – Упрощенная однолинейная схема замещения

Для расчёта токов КЗ принимаем базисные величины:

$$S_{\sigma} = 630 \text{ МВА};$$

$$U_{\sigma 1} = 37 \text{ кВ},$$

$$U_{\sigma 2} = 10,5 \text{ кВ};$$

$$I_{\sigma 1} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3}U_{\sigma 1}} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 37} = 9,83 \text{ кА};$$

$$I_{\sigma 2} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3}U_{\sigma 2}} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 34,64 \text{ кА}.$$

Считаем, что мощность системы  $S_c = \infty$ , соответственно индуктивное сопротивление системы  $x_c = \frac{S_{\sigma}}{S_c} = 0$ .

Для генераторов, трансформаторов, высоковольтных линий обычно учитываются только индуктивные сопротивления.

Базисные сопротивления в относительных единицах определяются по следующим формулам:

для воздушной линии:

$$X_{*ВЛ} = X_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{61}^2} \quad (2.36)$$

где  $x_0=0,432$  Ом.

$$X_{*ВЛ} = 0,432 \cdot 8 \cdot \frac{630}{37^2} = 1,59 \text{ о.е.};$$

$$R_{*ВЛ} = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{61}^2} \quad (2.37)$$

где  $r_0=0,422$  Ом/км.

$$R_{*ВЛ} = 0,422 \cdot 8 \cdot \frac{630}{37^2} = 0,55 \text{ о.е.}$$

для трансформатора:

$$X_{*тр} = \frac{U_{к\%}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{н.тр}} \quad (2.38)$$

где  $U_K$  – напряжение короткого замыкания трансформатора, %;

$S_{н.тр}$  – номинальная мощность трансформатора, МВА.

$$X_{*тр} = \frac{8}{100} \cdot \frac{630}{10} = 5,04 \text{ о.е.};$$

для кабельной линии:

$$X_{*кл} = X_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{62}^2} \quad (2.39)$$

где  $x_0$  – индуктивное сопротивление линии на один км длины, Ом/км,

$x_0=0,21$  Ом/км для сечения жилы –  $50\text{мм}^2$ . [1, табл. 8.2.13]

$l$  – длина линии, км.

$$X_{*кл} = \frac{0,21}{2} \cdot 1,155 \cdot \frac{630}{10,5^2} = 1,386 \text{ о.е.}$$

$$R_{*кл} = R_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{62}^2} \quad (2.40)$$

где  $r_0$  – активное сопротивление линии на один км длины, Ом/км,

$r_0=0,625$  Ом/км для сечения жилы – 50мм<sup>2</sup>. [1, табл. 8.2.13]  $l$  – длина линии, км.

$$R_{*кЛ} = \frac{0,625}{2} \cdot 1,155 \cdot \frac{630}{10,5^2} = 2,06 \text{ о.е.};$$

Рассмотрим точку  $K_1$ :

Сопротивление короткого замыкания:

так как  $r_\Sigma > \frac{x_\Sigma}{3}$  то нужно учитывать активное сопротивление воздушной линии.

Сопротивление короткого замыкания:

$$z_{\Sigma K1} = \sqrt{X_{*ВЛ}^2 + R_{*ВЛ}^2}, \quad (2.41)$$

$$z_{\Sigma K1} = 2,22 ;$$

Тогда действующее значение тока КЗ:

$$I_{K1} = \frac{I_{Б1}}{z_{\Sigma K1}}, \quad (2.42)$$

$$I_{K1} = \frac{9,83}{2,22} = 4,42 \text{ кА}$$

Ударный ток:

$$i_{уд1} = \sqrt{2} \cdot k_{уд} \cdot I_{K1}, \quad (2.43)$$

где  $k_{уд}$  – ударный коэффициент,  $k_{уд} = 1,25$

$$i_{уд1} = \sqrt{2} \cdot 1,25 \cdot 4,42 = 7,82 \text{ кА},$$

Мощность короткого замыкания:

$$S_{K1} = \frac{S_B}{z_{\Sigma K1}},$$

$$S_{K1} = \frac{630}{2,22} = 283,36 \text{ МВА}$$

Рассмотрим точку  $K_2$ :

Сопротивление короткого замыкания:

$$z_{\Sigma K2} = \sqrt{(X_{*ВЛ} + X_{*Тр})^2 + (R_{*ВЛ})^2} = 2,23, \text{ о.е.}$$

Тогда действующее значение тока КЗ:

$$I_{K2} = \frac{I_{B2}}{Z_{\Sigma K2}} = \frac{34,64}{2,23} = 15,56 \text{ кА}$$

Ударный ток:

$$i_{yD2} = \sqrt{2} \cdot k_{yD} \cdot I_{K2} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 15,56 = 39,59 \text{ кА},$$

где  $k_{yD} = 1,8$  – ударный коэффициент

Мощность короткого замыкания:

$$S_{K2} = \frac{S_B}{Z_{\Sigma K2}} = \frac{630}{2,23} = 282,9 \text{ МВА}$$

Рассмотрим точку К<sub>3</sub>:

Сопротивление короткого замыкания:

$$z_{\Sigma K3} = \sqrt{(X_{*ВЛ} + X_{*тр} + X_{*КЛ})^2 + (R_{*ВЛ} + R_{*КЛ})^2} = 4,69 \text{ о.е.}$$

Тогда действующее значение тока КЗ:

$$I_{K3} = \frac{I_{B2}}{Z_{\Sigma K3}} = \frac{34,64}{4,69} = 7,39 \text{ кА}$$

Ударный ток:

$$i_{yD3} = \sqrt{2} \cdot k_{yD} \cdot I_{K3} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 7,39 = 18,8 \text{ кА},$$

где  $k_{yD} = 1,8$  – ударный коэффициент, в цепи без учета активного сопротивления

Мощность короткого замыкания:

$$S_{K3} = \frac{S_B}{Z_{\Sigma K3}} = \frac{630}{4,69} = 134,42 \text{ МВА}$$

Термически стойкое сечение:

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C_T}, \quad (2.44)$$

где  $B_k = I_k^2 (t_{отк} + T_a)$  – тепловой импульс тока КЗ, А<sup>2</sup> с;

$T_a$  – постоянная затухания апериодической составляющей тока КЗ, принимаем равной 0,05 с;

$t_{отк} = t_z + t_v$  – время отключения КЗ, с;



$t_z$  – время действия основной защиты, с;

$t_{от}$  – полное время отключения выключателя, с;

$C_T$  – коэффициент, зависящий от допустимой температуры при КЗ и материала проводника:

- для кабелей до 10 кВ с алюминиевыми жилами  $C_T=85 \text{ А} \cdot \text{с}^{1/2}/\text{мм}^2$  [3, с. 43].

Для выключателя типа ВБПЭ - 10 полное время отключения  $t_{от}=0,05 \text{ с}$

Время действия основной защиты  $t_z=0,01 \text{ с}$  [9, с. 206].

*Проверяем линию ГПП – ТПЗ:*

$$I_{K3} = 15,56 \text{ кА}$$

$$(t_{от} + T_a) = 0,055 + 0,05 = 0,06 \text{ с},$$

$$F_{\min} = \frac{I_{K3} \sqrt{t_{от} + T_a}}{C_T}, \quad (2.45)$$

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{(15,56 \cdot 10^3)^2 \cdot 0,06}}{95} = 41,19 \text{ мм}^2$$

Полученное значение минимального сечения показывает, что выбранный кабель, для данного участка распределительной сети АПвП – (3×50) проходит проверку на термическую стойкость при КЗ в начале линии.

Схема заводского электроснабжения приведена на рис.2.8.

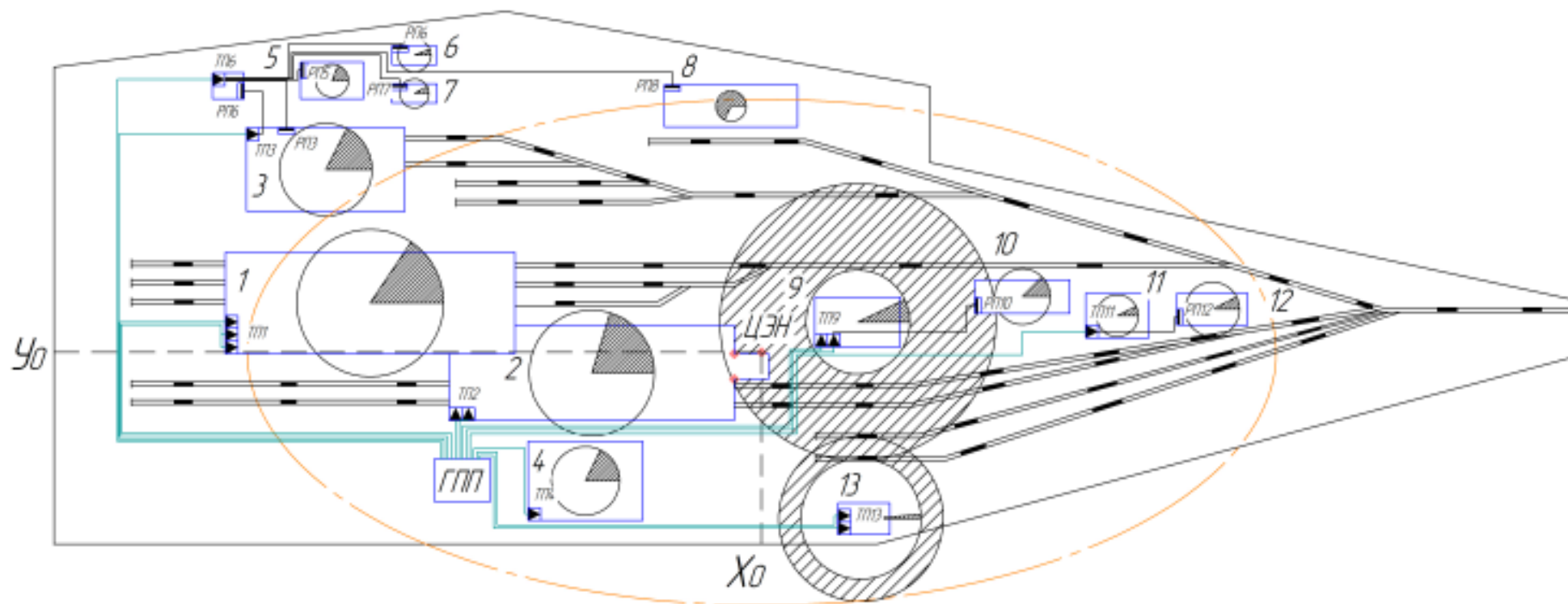


Рисунок 2.8 – Схема заводского электроснабжения

## 2.10. Выбор высоковольтного оборудования

Выбор высоковольтного выключателя, выбираем ВВ/ТЭ-10-10/630У2

$$U_{ном} = 10 \text{ кВ}, I_{ном} = 630 \text{ А}, I_{ном,откл} = 31,5 \text{ кА}$$

*Проверяем выключатель по следующим условиям:*

1) Номинальное напряжение:

$$U_{уст} \leq U_{ном} \quad (10 \text{ кВ} = 10 \text{ кВ})$$

2) Номинальный ток:

$$I_{норм} \leq I_{ном} \quad (57,45 \text{ А} \leq 630 \text{ А})$$

$$I_{мах} = 2 \cdot I_{норм}$$

$$I_{мах} \leq I_{ном} \quad (114,9 \text{ А} \leq 630 \text{ А})$$

3) Отключающая способность:

$$I_{n,\tau} \leq I_{отк, ном} \quad (4,42 \text{ кА} \leq 10 \text{ кА})$$

$$i_{a,\tau} \leq i_{a,ном} \quad (1,88 \text{ кА} \leq 8,48 \text{ кА})$$

$$i_{a,ном} = \sqrt{2} \cdot \beta_n I_{отк, ном} / 100 = \sqrt{2} \cdot 60 \cdot 10 / 100 = 8,48 \text{ кА}$$

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{n0} \cdot e^{\frac{-\tau}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 4,42 \cdot e^{\frac{-0,06}{0,05}} = 1,88 \text{ кА},$$

$$\text{где } T_a = 0,05 \text{ с};$$

$$\tau = t_{p.з.} + t_{c.в.} = 0,01 + 0,05 = 0,06 \text{ с}$$

4) Электродинамическая стойкость:

$$I_{n0} \leq I_{дин} \quad (4,42 \text{ кА} \leq 12,5 \text{ кА})$$

$$i_y \leq i_{дин} \quad (7,82 \text{ кА} \leq 32 \text{ кА}),$$

5) Термическая стойкость:

$$B_k \leq I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}} \quad (3,52 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 300 \text{ кА}^2 \cdot \text{с})$$

$$I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}} = 10^2 \cdot 3 = 300 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

$$B_k = I_{n0}^2 \cdot \tau = 4,42^2 \cdot 0,18 = 3,52 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

$$\text{где } \tau = t_{\text{р.з.}} + t_{\text{откл.в.}} + T_a = 0,08 + 0,05 + 0,05 = 0,18 \text{ с}$$

Выбор трансформаторов тока.

Выбираем ТОЛ-10-1

$$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}, I_{\text{ном}}^1 = 150 \text{ А}, I_{\text{ном}}^2 = 5 \text{ А}$$

*Проверяем трансформатор тока по следующим условиям:*

1) Номинальное напряжение:

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}} \quad (10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ})$$

2) Номинальный ток:

$$I_{\text{норм}} \leq I_{\text{ном}} \quad (57,45 \text{ А} \leq 150 \text{ А})$$

$$I_{\text{мах}} \leq I_{\text{ном}} \quad (114,9 \text{ А} \leq 150 \text{ А})$$

4) Электродинамическая стойкость:

$$i_y \leq i_{\text{дин}} \quad (7,82 \text{ кА} \leq 17,6 \text{ кА}),$$

5) Термическая стойкость:

$$B_k \leq I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}} \quad (3,52 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 300 \text{ кА}^2 \cdot \text{с})$$

$$I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}} = 10^2 \cdot 3 = 300 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Выбор высоковольтных измерительных приборов приведен в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Выбор измерительных приборов

Прибор	Тип	Нагрузка, ВА, фазы		
		А	В	С
Амперметр показывающий	Э – 365	0,5	-	-
Ваттметр	Д – 335	0,5	-	0,5
Счетчик активной энергии	СА3 – И674	2,5	-	2,5
Счетчик реактивной энергии	СР4 – И676	2,5	-	2,5
Итого		6	-	5,5

Общее сопротивление приборов определяется по выражению:

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2} = \frac{6}{5^2} = 0,24 \text{ Ом}$$

Сопротивление контактов  $r_k = 0,1 \text{ Ом}$  при общем числе приборов более трех;

$$z_{2\text{ном}} = 0,8 \text{ Ом.}$$

Допустимое сопротивление проводов:

$$r_{\text{пр}} = z_{2\text{ном}} - r_{\text{приб}} - r_k = 0,8 - 0,24 - 0,1 = 0,46 \text{ Ом};$$

Длина проводов  $l_{\text{расч}} = \sqrt{3} \cdot 5 = 8,66$  - расчетная длина соединительных проводов при включении трансформаторов тока и приборов в неполную звезду,  $l = 5 \text{ м}$  – длина соединительных проводов от трансформатора тока до приборов (в один конец), [2, стр. 375].

Определяем сечение проводов:

$$q = \frac{\rho \cdot l}{r_{\text{пр}}} = \frac{0,0283 \cdot 8,66}{0,46} = 0,533 \text{ мм}^2 \text{ мм}^2;$$

$\rho = 0,0283 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$  – удельное сопротивление материала проводника – алюминий.

По условию прочности принимаем контрольный кабель АКРВГ с сечением жил –  $4 \text{ мм}^2$ .

Трансформатор напряжения (ТВ)

Выбираем ЗНОЛ.09

$$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}, U_{\text{ном}}^1 = 10000 / \sqrt{3} \text{ В}, U_{\text{ном}}^{2\text{осн.втор.}} = 100 / \sqrt{3} \text{ В}, U_{\text{ном}}^{2\text{доп.втор.}} = 100 \text{ В}$$

*Проверяем трансформатор напряжения по следующим условиям:*

1) Номинальное напряжение:

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}} \quad (10 \text{ кВ} = 10 \text{ кВ})$$

$$P = S \cdot n_{\text{обм}} \cdot n_{\text{приб}} = 3 \cdot 2 \cdot 3 = 18 \text{ Вт}$$

$$Q = P \cdot \text{tg} \varphi = 18 \cdot 2,43 = 43,5 \text{ ВАр}$$

Вторичная нагрузка трансформатора напряжения:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{53^2 + 116^2} = 127,5 \text{ ВА}$$

Три трансформатора напряжения, соединенных в звезду, имеют мощность  $75 \cdot 3 = 225 \text{ ВА}$ , что больше  $S_{2\Sigma}$ . Таким образом, трансформаторы напряжения будут работать нормально в выбранном классе точности 0,5.

Выбор измерительных приборов приведен в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Выбор измерительных приборов

Прибор		Тип	S одной обмот ки ВА	Число обмот ок	cosφ	sinφ	Число приборо в	Общая потребляема я мощность	
								P, Вт	Q, ВАp
Вольтметр (сборные шины)		Э-335	2	1	1	0	1	2	-
Варметр	Ввод 10 кВ от транс- форматора	Д-335	1,5	2	1	0	1	3	-
Счетчик активной энергии		И-674	3 Вт	2	0,38	0,925	1	6	14,5
Счетчик реактивно й энергии		И-673	3 Вт	2	0,38	0,935	1	6	14,5
Счетчик активной энергии	Кабельны е линии 10кВ	И-674	3 Вт	2	0,38	0,925	1	18	43,5
Счетчик реактивно й энергии		И-673	3 Вт	2	0,38	0,935	1	18	43,5
Итого								53	116

### 2.11.Электроснабжение цеха по ремонту электровозов

Электроснабжение цеха выполняется в следующей последовательности:

1. Приёмники цеха распределяются по пунктам питания (силовым распределительным шкафам), выбирается схема и способ прокладки питающей сети цеха (от ТП до пунктов питания). Принятая схема (радиальная, магистральная, смешанная) питающей сети должна обеспечивать требуемую надёжность питания приёмников и требуемую по технологическим условиям гибкость и универсальность сети в отношении присоединения новых приёмников и перемещения приёмников по площади цеха. Выбор способа прокладки питающей сети производится с учётом характера окружающей среды и возможных условий места прокладки. Исполнение силовых

распределительных пунктов и шинопроводов должно также соответствовать характеру окружающей среды.

2. Определяются расчётные электрические нагрузки по пунктам питания цеха.

3. По длительно допустимой токовой нагрузке, производится выбор сечений питающей сети из условия нагрева и проверка их по потере напряжения.

4. Производится выбор аппаратов защиты и управления цеха силовой распределительной сети.

5. Строится карта селективности действия аппаратов защиты для участка цеховой сети (от вводного автомата на подстанции до самого мощного электроприёмника).

6. По условиям допустимой потери напряжения производится расчёт питающей и распределительной сети и построение эпюры отклонений напряжения для цепочки линий от шин ГПП до зажимов одного наиболее мощного электроприёмника для режимов максимальной, минимальной и послеаварийной нагрузок.

7. Производится расчёт токов короткого замыкания для участка цеховой сети от ТП до наиболее мощного электроприёмника цеха. Полученные данные наносятся на карту селективности действия аппаратов защиты.

### **2.11.1 Распределение приёмников по пунктам питания**

Распределение электроприёмников по пунктам питания осуществляется путём подключения группы электроприёмников к соответствующему распределительному пункту ПР. Так как ПР бывают различных типов и имеют определённое число присоединений (до 12), то для каждого электроприёмника необходимо выбрать автоматический выключатель. Кроме того, для каждого ПР необходимо выбрать защитный аппарат.

Намечаем радиальную схему питающей сети цеха. Способ прокладки питающей сети цеха (от ТП-3 до пунктов питания) – в каналах (рис. 2.9).



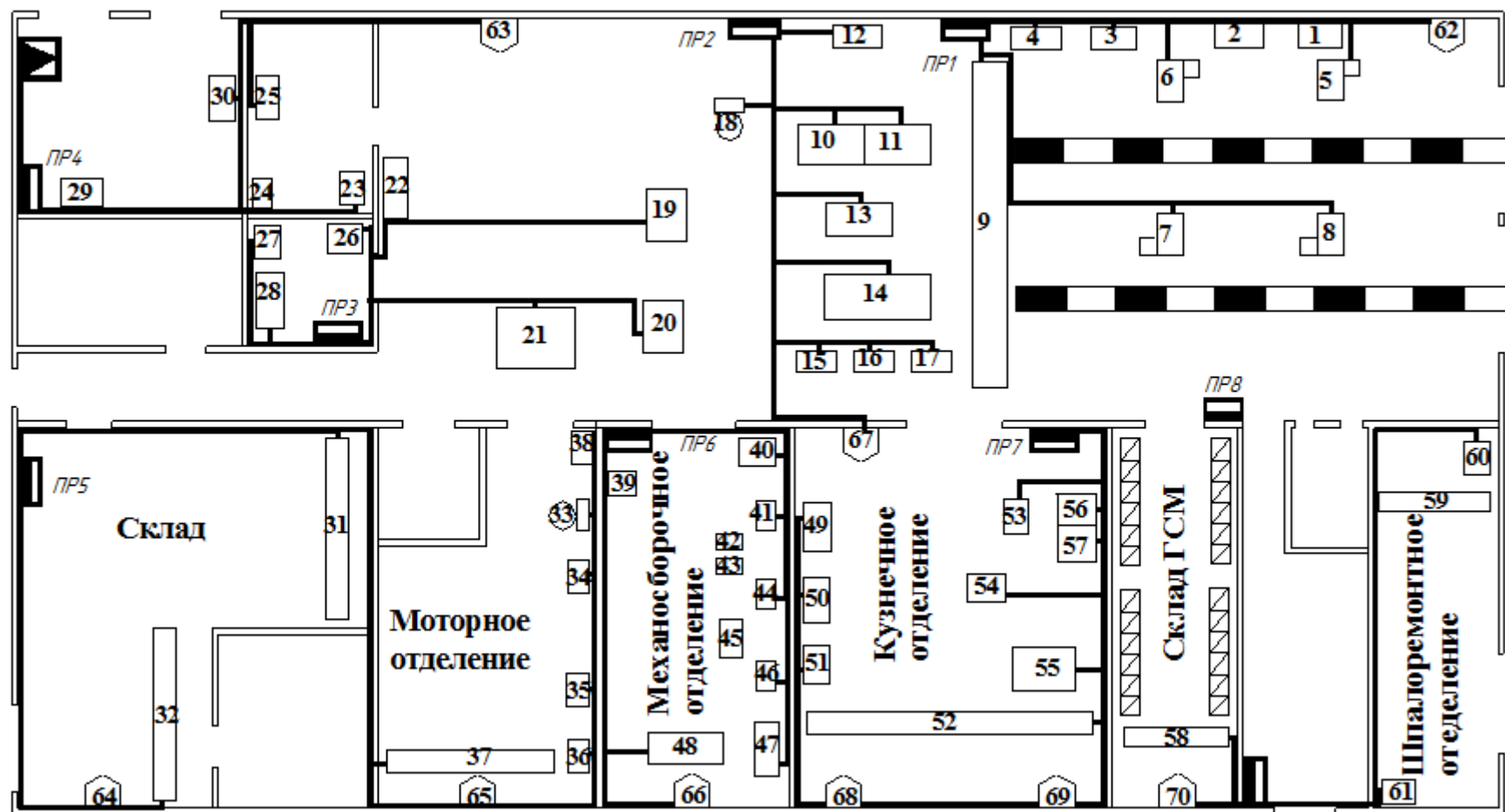


Рисунок 2.9 – Схема питающей и распределительной сети цеха

## 2.12.Выбор и проверка электрических аппаратов и токоведущих частей в сети до 1000 В

Условия выбора автоматических выключателей:

$$1. I_{н.расц} \geq I_{дл}; \quad (2.46)$$

$I_{дл} = I_{ном}$  для отдельного ЭП,

$I_{дл} = I_p$  для группы ЭП.[1].

$I_{н.расц}$  -номинальный ток теплового расцепителя автоматического выключателя.

$$2. I_{кз} \geq 1,5 \cdot I_{пуск} - \text{для отдельного ЭП}, \quad (2.47)$$

$I_{кз} \geq 1,25 \cdot I_{тик}$  - для группы ЭП,

$I_{кз} = k \cdot I_{н.расц}$  - номинальный ток срабатывания уставки в зоне кз.[1](9.3)

*Пример расчёта:*

АВ на отдельные ЭП (Зарядное устройство)

Выбираем автомат серии ВА51-26,

$$I_{ном} = \frac{15}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,8} = 28,49 (A).$$

Далее определяем условия выбора:

$$I_{н.расц} = 32 \geq I_{дл} = 28,49 (A);$$

$$I_{пуск} = 5 \cdot I_{ном} = 5 \cdot 28,49 = 142,45 (A)$$

$$I_{кз} = 224 \geq 1,5 \cdot 142,45 = 213,68 (A)$$

$$224 \geq 213,68$$

Выбираем автомат ВА57-35-31,5.

Номинальный ток автомата  $I_{ном} = 32 (A)$ , номинальный ток расцепителя  $I_{н.расц} = 31,5 (A)$ , уставка мгновенного срабатывания  $I_{кз} = 252 (A)$  Выбор автоматических выключателей для остальных электроприемников сведем в табл. 2.10.

Таблица 2.10 – Защитные аппараты для электроприёмников цеха

№ по плану цеха	Наименование производственного механизма	Р <sub>ном</sub>	I <sub>ном</sub>	1,5I <sub>пуск</sub>	Тип выключателя	I <sub>м.рас</sub>	I <sub>э.рас</sub>
		кВт	А	А			
ПП1							
1	Сварочный трансформатор	20	86,8	651,15	BA51-35	100	800
2,4	Зарядное устройство,	15	28,49	213,65	BA51-35	31,5	252
3	Сварочный трансформатор ПВ=40%	12,6	47,86	358,94	BA51-35	50	400
9	Кран-балка	30	95,95	719	BA51-35	100	800
5-8	Домкрат	15	30,96	232,23	BA51-35	31,5	252
62	Вентилятор	20	56,27	422,04	BA51-35	63	504
ПП2							
10-11	Механический пресс	3,5	10,23	76,7	BA51-31	12,5	93,75
12	Сверлильный станок	2	8,9	65,1	BA51-31	12,5	93,75
13	Точильный станок	5,5	20,89	156,9	BA51-31	25	187,5
14	Выпрямитель	8	20,35	151,9	BA51-31	25	187,5
15-17	Сварочный трансформатор	20	86,82	651,15	BA51-31	100	750
18	Вертикально-сверлильный станок	5	18,99	142,44	BA51-31	25	187,5
67	Вентилятор	7,5	21,1	158,26	BA51-31	25	187,5
ПП3							
19,20	Станки	3	13,02	97,67	BA51-26	15	105
21	Пресс фрикционный	10	28,22	219,14	BA51-26	32	224
22	Испытательный стенд	5,5	11,94	89,53	BA51-26	15	105
26-27	Муфельная печь	15	23,99	179,9	BA51-26	32	224
ПП4							
23-25	Испытательный стенд	5,5	11,94	89,53	BA51-31	16	120
29-30	Сверочный трансформатор	20	86,82	651,15	BA51-31	100	750
63	Вентилятор	20	56,27	422,04	BA51-31	63	472,2
ПП5							
31,37	Кран-балка	10	23,99	179,92	BA51-31	25	187,5
32	Кран-балка	7,5	31,98	239,89	BA51-31	63	472,5
33	Вертикально-сверлильный станок	5	21,7	162,79	BA51-31	25	187,5
34	Сверочный трансформатор	20	86,82	651,15	BA51-31	100	750
35-36	Фрезеровочный станок	3	13,02	97,67	BA51-31	16	120
38	Выпрямитель	20	50,64	379,83	BA51-31	63	472,5

Продолжение таблицы 2.10

ПР6							
39	Координатно-расточный станок	22	95,5	716,26	BA51-31	100	750
40,41, 44-46	Станки	7,5	32,56	244,18	BA51-31	63	472,5
47	Точильный станок	5,5	23,87	179,07	BA51-31	25	187,5
48	Токарный станок	15	65,11	488,36	BA51-31	80	520
66	Вентилятор	7,5	21,1	158,3	BA51-31	25	187,5
ПР7							
49-50	Гидравлический пресс	15	43,83	328,7	BA51-31	63	472,5
51	Сварочный трансформатор	20	86,82	651,15	BA51-31	100	750
52	Кран-балка	15	65,11	488,36	BA51-31	80	520
53	Сварочный трансформатор	10	43,41	325,57	BA51-31	63	472,5
54	Электролом	20	54,26	406,97	BA51-31	63	472,5
55	Электрод	30	47,97	359,84	BA51-31	63	472,5
56-57	Вентилятор горна	15	28,22	211,67	BA51-31	31	323,5
68-69	Вентилятор	7,5	21,1	158,3	BA51-31	25	187,5
ПР8							
58-59	Кран-балка	10	23,99	179,92	BA51-31	25	187,5
60,61	Токарный станок	15	65,11	488,36	BA51-31	80	520
70	Вентилятор	7,5	21,1	158,3	BA51-31	25	187,5

По данным табл. 2.10 согласно [1, Таблица П.10.1] примем типы распределительных шкафов. Результаты сведены в табл. 2.11

Таблица 2.11 – Распределительные шкафы и пункты цеха

№ шкафа	Тип шкафа	Число отходящих линий
ПР-1	ПР8503	12
ПР-2	ПР8503	12
ПР-3	ПР8503	8
ПР-4	ПР8503	8
ПР-5	ПР8503	12
ПР-6	ПР8503	12
ПР-7	ПР8503	12
ПР-8	ПР8503	8

Выберем автоматические выключатели для защиты линий, питающих распределительные шкафы цеха.

Условия выбора автоматических выключателей:

$$1) I_{н.расц.} \geq I_{дл}; \quad (2.47)$$

$$2) I_{кз} \geq 1,25 \cdot I_{кр}, \quad (2.48)$$

где  $I_{н.расц.}$  - номинальный ток расцепителя автомата;

$I_{дл}$  - длительно протекающий в линии ток;

$I_{кз}$  - уставка по току срабатывания расцепителя в зоне КЗ;

$I_{кр}$  - максимальный кратковременный ток линии; 1,25 – учитывает разброс срабатываний автомата по току.

*Пример выбора автоматического выключателя для защиты ПР-1:*

Максимальный кратковременный ток линии  $I_{кр}$  равен пиковому току шкафа  $I_{пик}$ , который определяем по формуле

$$I_{пик} = I_{пуск.наиб.} + (I_p - I_{ном.м} \cdot K_u),$$

где  $I_{п.м}$ ,  $I_{ном.м}$ ,  $K_u$  - соответственно наибольший из пусковых токов двигателей в группе по паспортным данным, его номинальный (приведенный к ПВ=100%) ток и коэффициент использования;

$I_p$  - расчетный ток нагрузки всей группы электроприемников.

Получаем

$$I_{кр} = I_{пик} = (456,34 + 208,99) = 665,34 \text{ А}.$$

Условия для выбора автоматического выключателя:

$$\begin{aligned} I_{н.расц.} &\geq I_{дл} \text{ А} \\ 250 &\geq 214,48; \end{aligned}$$

$$I_{кз} \geq 1,25 \cdot I_{кр} = 1,25 \cdot 665,34 = 831,68 \text{ А}.$$

По каталогу предприятия принимаем автоматический выключатель типа ВА57-35 с номинальным током расцепителя  $I_{н.расц.} = 250 \text{ А}$ .

Уставка по току срабатывания расцепителя в зоне КЗ  $I_{кз} = 1000 A$ .

Результаты выбора автоматических выключателей для защиты распределительных шкафов приведены в табл. 2.12.

Таблица 2.12 – Аппараты защиты для силовых распределительных шкафов

№ шкафа	$I_{\text{дл}}$	$I_{\text{кр}}$	$1,25I_{\text{кр}}$	Тип автоматического. выключателя	$I_{\text{н.расц}}$	$I_{\text{кз}}$
	A	A	A		A	A
ПР1	214,47	665,34	831,68	ВА57–35	250	1000
ПР2	132.31	545.2	681.5	ВА57–35	160	800
ПР3	56.021	164.11	295,13	ВА57–35	63	315
ПР4	126.864	539.74	674.67	ВА57–35	160	800
ПР5	108.68	346.99	433,74	ВА57–35	125	500
ПР6	84.91	411.53	514,41	ВА57–35	100	600
ПР7	194.07	398.22	497.77	ВА57–35	200	500
ПР8	46.62	269.32	336.65	ВА57–35	100	600

Выбор вводного автомата на подстанции ТП-3:

$$I_{\text{дл}} = I_{\text{ном.тр}} = \frac{S_{\text{ном.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 957,19 A ;$$

$$I_{\text{пик}}^{n/ст} = I_{\text{п.м.}} + (I_{\text{ном.тр}} - K_u \cdot I_{\text{ном.м}}) = 66,34 + (957,19 - 0,32 \cdot 132,31) = 1518,19 A$$

По каталогу производителя принимаем автоматический выключатель типа ВА83-41 с номинальным током расцепителя  $I_{\text{ном.расц.}} = 1000 A$ .

Уставка по току срабатывания расцепителя в зоне КЗ

$$I_{\text{кз}} = 2 \cdot I_{\text{ном.расц.}} = 2 \cdot 1000 = 2000 A .$$

### 2.13. Выбор сечений линий питающей сети цеха

Выбор сечений проводников питающей сети цеха будем производить из условий допустимой нагрузки и допустимой потери напряжения.

Выбор сечения проводника по условию допустимого нагрева при длительном протекании расчетного тока нагрузки  $I_m$  определяется из условия

$$I_{доп} \geq \frac{I_m}{k_{прокл}}.$$

Кроме того, сечение проводника должно быть согласовано с аппаратом защиты этого проводника по условию

$$I_{доп} \geq \frac{k_3 \cdot I_3}{k_{прокл}},$$

где  $k_{прокл}$  - поправочный коэффициент на условия прокладки проводов и кабелей;

$k_3$  - коэффициент защиты или кратность защиты;

$I_3$  - номинальный ток или ток уставки срабатывания защитного аппарата.

Проверка выбранного сечения проводника по допустимой потере напряжения выполняется из условия

$$\Delta U_{p\%} = \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{10 \cdot U_n^2} \leq \Delta U_{доп\%} = 5\%,$$

где  $\Delta U_{доп\%} = 5\%$  - допустимая потеря напряжения.

Результаты расчета сечений питающей сети цеха приведены в таблице 2.13.

*Пример расчетов для линии РПЗ – ПРЗ:*

$$I_{доп} \geq \frac{I_m}{k_{прокл}} = \frac{56,02}{1} = 56,02 A,$$

где  $k_{прокл} = 1$  при способе прокладки кабеля каналам.

$$I_{доп} \geq \frac{k_3 \cdot I_3}{k_{прокл}} = \frac{1 \cdot 63}{1} = 63 A,$$

где  $I_3 = I_{\text{ном.расц}} = 63 \text{ A}$ ,  $k_3 = 1$

По таблице 1.3.7 [6] выбираем сечение кабеля, удовлетворяющее обоим условиям. Принимаем кабель марки АВВГ 4(1х25):  $I_{\text{дон}} = 70 \text{ A}$ .

Проверяем выбранное сечение по условиям допустимой потери напряжения:

$$\Delta U_{p\%} = \frac{P \cdot l \cdot r_0 + Q \cdot x_0 \cdot l}{10 \cdot 0,4^2} = \frac{34,97 \cdot 1,25 \cdot 0,0799 + 11,54 \cdot 0,091 \cdot 0,0799}{10 \cdot 0,4^2} = 2,2\%$$

Таким образом, условие допустимой потери напряжения выполняется.  
Окончательно принятое сечение и марка кабеля – АВВГ 4(1х25).[1.П 11.2]



Таблица 2.13 – Выбор сечений линий питающей сети цеха

№ п/п	Назначение участка (линии) питающей сети	Расчетная нагрузка $S_p$ , кВА	Расчетный ток $I_p$ , А	Длина линии $l$ , км	Способ прокладки	Коэффициент прокладки, $K$	Марка кабеля	Сечение, выбранное из условия допустимого нагрева $S_n$ , мм <sup>2</sup>	Допустимый длительно ток $I_{доп}$ , А
1	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	ПР1	140,9	214,47	0,125	В канале	1	АВВГ	1(4х70)	280
2	ПР2	86,98	132.31	0,0973	В канале	1	АВВГ	1(4х95)	175
3	ПР3	36,83	56.021	0,0799	В канале	1	АВВГ	1(4х25)	70
4	ПР4	83,4	126.864	0,054	В канале	1	АВВГ	1(4х95)	175
5	ПР5	71,44	108.68	0,056	В канале	1	АВВГ	1(4х70)	140
6	ПР6	55,82	84.91	0,133	В канале	1	АВВГ	1(4х50)	120
7	ПР7	127,58	194.07	0,19	В канале	1	АВВГ	1(4х50)	240
8	ПР8	30,65	46.62	0,218	В канале	1	АВВГ	1(4х25)	70

## 2.14.Выбор сечений распределительной сети цеха

Условия выбора сечений проводников для электроприемников:

$$1) I_{доп} \geq \frac{I_{ном}}{k_{прокл}} \quad (2.49)$$

$$2) I_{доп} \geq \frac{k_z \cdot I_z}{k_{прокл}} \quad (2.50)$$

Для проводов, проложенных в кабель-канале,  $k_{прокл} = 1$ .

Значения номинальных токов электроприемников приведены в таблице 2.14.

Пример расчетов для ответвления к зарядному устройству (ПР-1):

$$I_{доп} \geq \frac{I_{ном}}{k_{прокл}} \Rightarrow 37 \geq \frac{28,49}{1}; 37 \geq 28,49;$$

$$I_{доп} \geq \frac{k_z \cdot I_z}{k_{прокл}} \Rightarrow 37 \geq \frac{1 \cdot 31,5}{1}; 37 \geq 31,5 A,$$

где  $I_z = I_{ном.расч} = 31,5 A$ ,  $k_z = 1$

По табл. выбираем провод марки АВВГ – 4(1х8):  $I_{доп} = 37 A$ .

Таблица 2.14– Выбор сечения проводников и защитных аппаратов

№ по плану цеха	Наименование производственного механизма	$P_{ном}$	$I_{ном}$	$I_{пуск}$	Тип выключателя	$I_{м.рас}$	$I_{доп}$	Марка КЛ
		кВт	А	А				
ПР1								
1	Сварочный трансформатор	20	86,8	434,1	ВА51-35	100	120	АВВГ 1(4х50)
2,4	Зарядное устройство,	15	28,49	142,44	ВА51-35	31,5	37	АВВГ 1(4х8)
3	Сварочный трансформатор ПВ=40%	12,6	47,86	239,3	ВА51-35	50	55	АВВГ 1(4х16)
9	Кран-балка	30	95,95	479,79	ВА51-35	100	120	АВВГ 1(4х50)
5-8	Домкрат	15	30,96	154,82	ВА51-35	31,5	37	АВВГ 1(4х8)

Продолжение таблицы 2.14

62	Вентилятор	20	56,27	281.36	BA51-35	63	70	ABBГ 1(4x25)
ПР2								
10-11	Механический пресс	3,5	10,23	51,13	BA51-31	12,5	19	ABBГ 1(4x2,5)
12	Сверлильный станок	2	8,9	43,4	BA51-31	12,5	19	ABBГ 1(4x2,5)
13	Точильный станок	5,5	20,89	104,6	BA51-31	25	27	ABBГ 1(4x5)
14	Выпрямитель	8	20,35	101,27	BA51-31	25	27	ABBГ 1(4x5)
15-17	Сварочный трансформатор	20	86,82	31,4	BA51-31	100	120	ABBГ 1(4x50)
18	Вертикально-сверлильный станок	5	18,99	94,97	BA51-31	25	27	ABBГ 1(4x5)
67	Вентилятор	7,5	21,1	105,5	BA51-31	25	27	ABBГ 1(4x5)
ПР3								
19,20	Станки	3	13,02	65.12	BA51-26	15	19	ABBГ 1(4x2,5)
21	Пресс фрикционный	10	28,22	146.09	BA51-26	32	37	ABBГ 1(4x8)
22	Испытательный стенд	5,5	11,94	59.69	BA51-26	15	19	ABBГ 1(4x2,5)
26-27	Муфельная печь	15	23,99	119.95	BA51-26	32	37	ABBГ 1(4x8)
ПР4								
23-25	Испытательный стенд	5,5	11,94	59.6884 7	BA51-31	16	19	ABBГ 1(4x2,5)
29-30	Сверочный трансформатор	20	86,82	434.097 9	BA51-31	100	120	ABBГ 1(4x50)
63	Вентилятор	20	56,27	281.359 8	BA51-31	63	70	ABBГ 1(4x25)
ПР5								
31,37	Кран-балка	10	23,99	119,95	BA51-31	25	27	ABBГ 1(4x5)
32	Кран-балка	7,5	31,98	159,93	BA51-31	63	70	ABBГ 1(4x25)
33	Вертикально-сверлильный станок	5	21,7	108,53	BA51-31	25	27	ABBГ 1(4x5)
34	Сверочный трансформатор	20	86,82	434,1	BA51-31	100	120	ABBГ 1(4x50)

Продолжение таблицы 2.14

35-36	Фрезеровочный станок	3	13,02	65,11	BA51–31	16	19	ABBГ 1(4x2,5)
38	Выпрямитель	20	50,64	253,33	BA51–31	63	70	ABBГ 1(4x25)
64-65	Вентилятор	7,5	21,1	105,53	BA51–31	25	27	ABBГ 1(4x5)
ПР6								
39	Координатно–расточный станок	22	95,5	477,51	BA51–31	100	120	ABBГ 1(4x50)
40,41, 44-46	Станки	7,5	32,56	162,79	BA51–31	63	70	ABBГ 1(4x25)
47	Точильный станок	5,5	23,87	119,38	BA51–31	25	27	ABBГ 1(4x5)
48	Токарный станок	15	65,11	235,57	BA51–31	80	85	ABBГ 1(4x35)
66	Вентилятор	7,5	21,1	105,5	BA51–31	25	27	ABBГ 1(4x5)
ПР7								
49-50	Гидравлический пресс	15	43,83	219,136	BA51–31	63	70	ABBГ 1(4x25)
51	Сварочный трансформатор	20	86,82	434,1	BA51–31	100	120	ABBГ 1(4x50)
52	Кран-балка	15	65,11	325,57	BA51–31	80	85	ABBГ 1(4x35)
53	Сварочный трансформатор	10	43,41	217,05	BA51–31	63	70	ABBГ 1(4x25)
54	Электролопат	20	54,26	271,3	BA51–31	63	70	ABBГ 1(4x25)
55	Электроды	30	47,97	239,9	BA51–31	63	70	ABBГ 1(4x25)
56-57	Вентиляторы горна	15	28,22	141,12	BA51–31	31	37	ABBГ 1(4x8)
68-69	Вентилятор	7,5	21,1	105,51	BA51–31	25	27	ABBГ 1(4x5)
ПР8								
58-59	Кран-балка	10	23,99	119,9	BA51–31	25	27	ABBГ 1(4x5)
60,61	Токарный станок	15	65,11	325,6	BA51–31	80	85	ABBГ 1(4x35)
70	Вентилятор	7,5	21,1	105,5	BA51–31	25	27	ABBГ 1(4x5)

### 2.14.1. Расчет питающей и распределительной сети по условиям допустимой потери напряжения. Построения эпюры отклонений напряжения

Расчет питающей и распределительной сети по условиям допустимой потери напряжения и построение эпюры отклонений напряжения выполняем для цепочки линий от шин ГПП до зажимов наиболее отдалённого и мощного электроприемника (№55).

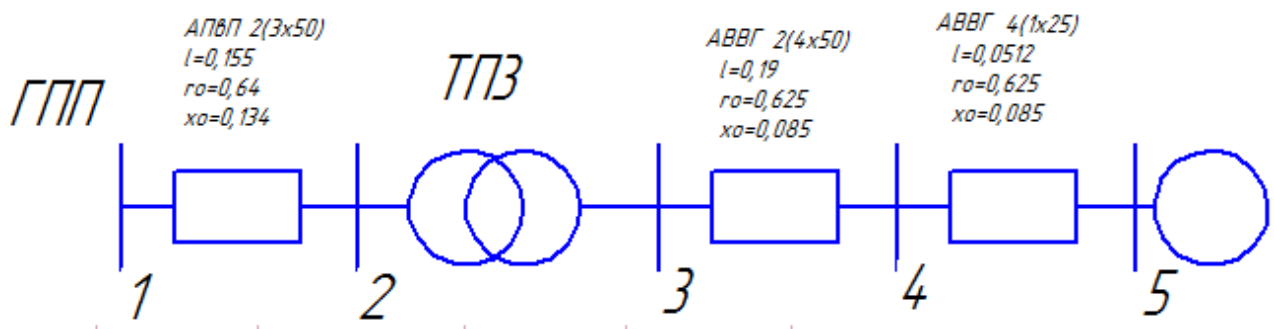


Рисунок 2.10- Участок сети для расчета потерь напряжения и построения эпюры отклонений напряжения

Расчет потерь напряжений в различных элементах выбранной цепочки производим по нижеприведенным формулам.

Для трансформатора

$$\Delta U_m \% = \beta_m (U_a \cdot \cos \varphi_2 + U_p \sin \varphi_2) + \frac{\beta_m^2}{200} (U_a \cdot \sin \varphi_2 - U_p \cdot \cos \varphi_2), \quad (2.51)$$

где  $\beta_m = \frac{S_{\text{фактич}}}{S_{\text{н.тр.}}}$  – фактический коэффициент загрузки трансформатора;

$S_{\text{фактич}}$  – фактическая нагрузка одного трансформатора, кВА;

$S_{\text{н.тр.}}$  – номинальная мощность цехового трансформатора, кВА;

$U_a = \frac{\Delta P_{\text{кз}} \cdot 100\%}{S_{\text{н.тр.}}}$  – активная составляющая напряжения короткого

замыкания цехового трансформатора, %;

$\Delta P_{\text{кз}}$  – потери активной мощности при КЗ, кВт;

$U_p = \sqrt{(U_k)^2 - (U_a)^2}$  – реактивная составляющая напряжения короткого

замыкания цехового трансформатора, %;

$U_k$  – напряжение короткого замыкания, %;

$\cos \varphi_2$  и  $\sin \varphi_2$  – коэффициент мощности вторичной нагрузки трансформатора и соответствующий ему  $\sin \varphi_2$ .

Для линии

$$\Delta U \% = \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{10 \cdot U_i^2}, \quad (2.52)$$

где  $P$  и  $Q$  – соответственно величины активной и реактивной мощностей, передаваемых по расчетному участку в рассматриваемом режиме, кВт и кВар;

$R$  и  $X$  – активное и индуктивное сопротивления данного участка сети, Ом;

$U_i$  – напряжение на данном участке сети (в начале участка), кВ.

*Расчет для максимального режима нагрузок*

Участок 1-2(ГПП – ТП-3):

$$\Delta U_{12} = \frac{P_{12} R_{12} + Q_{12} X_{12}}{10 U_1^2};$$

$$R_{12} = 0,64 \cdot 1,155 = 0,7392 \text{ Ом};$$

$$X_{12} = 0,134 \cdot 1,155 = 0,15477 \text{ Ом};$$

Удельные активное и реактивное сопротивления линий принимаем согласно [10, табл. 8.2.13, 8.2.15].

$$P_{12} = 508,27 \text{ кВт};$$

$$Q_{12} = 332,375 \text{ кВар};$$

$$\Delta U_{12} = \frac{508,27 \cdot 0,739 + 332,375 \cdot 0,155}{10 \cdot 10,5^2} = 0,387\%;$$

$$\text{Или } \Delta U_{12} = 0,387 \cdot \frac{10,5}{100} = 0,041 \text{ кВ};$$

$$U_2 = 10,5 - 0,041 = 10,459 \text{ кВ};$$

Участок 2-3(ТСЗ-630/10):

$$\Delta U_m \% = \beta_m (U_a \cdot \cos \varphi_2 + U_p \sin \varphi_2) + \frac{\beta_m^2}{200} (U_a \cdot \sin \varphi_2 - U_p \cdot \cos \varphi_2),$$

$$U_a = \frac{\Delta P_{\kappa 3} \cdot 100\%}{S_{н.тр.}} = \frac{8,5 \cdot 100\%}{630} = 1,35\%;$$

$$U_p = \sqrt{(U_{\kappa})^2 - (U_a)^2} = \sqrt{5,5^2 - 1,35^2} = 5,33\%;$$

Потери мощности в трансформаторе:

$$\underline{\beta_m = 0,9}$$

$$\cos \varphi = \frac{P_{\phi}}{S} = 0,807;$$

$$\sin \varphi = 0,44;$$

Вторым слагаемым можно пренебречь при  $S_{тр}=630$  кВА и менее.

$$\Delta U_m \% = \beta_m (U_a \cdot \cos \varphi_2 + U_p \sin \varphi_2) = 3,09\%;$$

$$\Delta U_m = 3,09 \cdot \frac{10,454}{100} = 0,32 \text{ кВ};$$

$$U_3' = 10,459 - 0,32 = 10,136 \text{ кВ};$$

$$U_3 = 0,4 \cdot \frac{10,136}{10,5} = 0,386 \text{ кВ};$$

Участок 3-4(ТП-3 – ПР7):

$$\Delta U_{34} = \frac{P_{34} R_{34} + Q_{34} X_{34}}{10 U_3^2};$$

$$R_{34} = r_{034} \cdot L_{34} = 0,05 \text{ Ом};$$

$$X_{34} = x_{034} \cdot L_{34} = 0,018 \text{ Ом};$$

Удельные активное и реактивное сопротивления линий здесь и в дальнейшем принимаем согласно [7, табл. 6.13].

$$P_{34} = 103,67 \text{ кВт};$$

$$Q_{34} = 75,73 \text{ кВар};$$

$$\Delta U_{34} = \frac{103,67 \cdot 0,5 \cdot 0,05 + 75,73 \cdot 0,5 \cdot 0,018}{10 \cdot 0,386^2} = 2,17\%;$$

$$\text{Или } \Delta U_{34} = 2,17 \cdot \frac{0,386}{100} = 0,0084 \text{ кВ};$$

$$U_4 = 0,386 - 0,0084 = 0,378 \text{ кВ};$$

Участок 4-5(ПР8 - ЭП61):

$$\Delta U_{45} = \frac{P_{45} R_{45} + Q_{45} X_{45}}{10 U_4^2};$$

$$R_{45} = r_{045} \cdot L_{45} = 0,031 \text{ Ом};$$

$$X_{45} = x_{045} \cdot L_{45} = 0,0045 \text{ Ом};$$

Удельные активное и реактивное сопротивления линий здесь и в дальнейшем принимаем согласно [7, табл. 6.13].

$$P_{45} = 30 \text{ кВт};$$

$$Q_{45} = 9,9 \text{ кВар};$$

$$\Delta U_{45} = \frac{30 \cdot 0,031 + 9,9 \cdot 0,0045}{10 \cdot 0,378^2} = 0,68\%;$$

$$\text{Или } \Delta U_{45} = 0,68 \cdot \frac{0,378}{100} = 0,0026 \text{ кВ};$$

$$U_{45} = 0,378 - 0,0026 = 0,38 \text{ кВ};$$

Отклонения напряжения:

$$\delta U_0 = 5\%;$$

$$\delta U_1 = \delta U_0 - \delta U_{\text{ГПП}} = 5 - 0,38 = 4,613$$

$$\delta U_2 = \delta U_1 - \Delta U_{12} \% = 4,6 - 3,09 = 1,52\%;$$

$$\delta U_3 = \delta U_2 - \Delta U_{23} \% = 1,52 - 2,17 = -0,65\%;$$

$$\delta U_4 = \delta U_3 - \Delta U_{34} \% = -0,65 - 0,68 = -1,3\%;$$

Согласно [6], для силовых сетей отклонения напряжения от номинального должны составлять не более  $+5\%$ ;  $-2,5\%$ . В данном случае условие выполняется.

*Расчет для минимального режима нагрузок:*

Для определения потоков мощностей для минимального режима воспользуемся характерным суточным графиком активной и реактивной нагрузок.

Участок 1-2(ГПП - ТП-3):

$$\Delta U_{12} = \frac{P_{12} R_{12} + Q_{12} X_{12}}{10 U_1^2};$$



$$R_{12} = 0,64 \cdot 1,155 = 0,7392 \text{ Ом};$$

$$X_{12} = 0,134 \cdot 1,155 = 0,15477 \text{ Ом};$$

Удельные активное и реактивное сопротивления линий принимаем

$$P_{12} = 203,31 \text{ кВт};$$

$$Q_{12} = 216,04 \text{ кВар};$$

$$\Delta U_{12} = \frac{203,31 \cdot 0,739 + 216,04 \cdot 0,155}{10 \cdot 10^3} = 0,18\%;$$

$$\text{Или } \Delta U_{12} = 0,18 \cdot \frac{10}{100} = 0,018 \text{ кВ};$$

$$U_2 = 10 - 0,018 = 9,98 \text{ кВ};$$

Участок 2-3(ТСЗ-630/10):

$$\Delta U_m \% = \beta_m (U_a \cdot \cos \varphi_2 + U_p \sin \varphi_2) + \frac{\beta_m^2}{200} (U_a \cdot \sin \varphi_2 - U_p \cdot \cos \varphi_2),$$

$$U_a = \frac{\Delta P_{\kappa 3} \cdot 100\%}{S_{н.мр.}} = \frac{8,5 \cdot 100\%}{630} = 1,35\%;$$

$$U_p = \sqrt{(U_{\kappa})^2 - (U_a)^2} = \sqrt{5,5^2 - 1^2} = 5,33\%;$$

Потери мощности в трансформаторе:

$$\beta_m = 0,47$$

$$\cos \varphi = \frac{P_{\phi}}{S} = 0,807;$$

$$\sin \varphi = 0,44;$$

Вторым слагаемым можно пренебречь при  $S_{тр}=630 \text{ кВА}$  и менее.

$$\Delta U_m \% = \beta_m (U_a \cdot \cos \varphi_2 + U_p \sin \varphi_2) = 1,61\%;$$

$$\Delta U_m = 1,61 \cdot \frac{9,98}{100} = 0,16 \text{ кВ};$$

$$U_3' = 9,98 - 0,16 = 9,82 \text{ кВ};$$

$$U_3 = 0,4 \cdot \frac{9,82}{10} = 0,39 \text{ кВ};$$

Участок 3-4(ТП-1 – ПР8):

$$\Delta U_{34} = \frac{P_{34} R_{34} + Q_{34} X_{34}}{10 U_3^2};$$

$$R_{34} = r_{034} \cdot L_{34} = 0,05 \text{ Ом};$$

$$X_{34} = x_{034} \cdot L_{34} = 0,018 \text{ Ом};$$

Удельные активное и реактивное сопротивления линий здесь и в дальнейшем принимаем согласно [7, табл. 6.13].

$$P_{34} = 23,96 \text{ кВт};$$

$$Q_{34} = 19,11 \text{ кВар};$$

$$\Delta U_{34} = \frac{42,4 \cdot 0,05 + 38,6 \cdot 0,018}{10 \cdot 0,39^2} = 1,8\%;$$

$$\text{Или } \Delta U_{34} = 1,8 \cdot \frac{0,39}{100} = 0,0071 \text{ кВ};$$

$$U_4 = 0,30 - 0,0071 = 0,386 \text{ кВ};$$

Участок 4-5(ПР8 - ЭП61):

$$\Delta U_{45} = \frac{P_{45} R_{45} + Q_{45} X_{45}}{10 U_4^2};$$

$$R_{45} = r_{045} \cdot L_{45} = 0,031 \text{ Ом};$$

$$X_{45} = x_{045} \cdot L_{45} = 0,0045 \text{ Ом};$$

Удельные активное и реактивное сопротивления линий здесь и в дальнейшем принимаем согласно [7, табл. 6.13].

$$P_{45} = 30 \text{ кВт};$$

$$Q_{45} = 9,9 \text{ кВар};$$

$$\Delta U_{45} = \frac{30 \cdot 0,031 + 9,9 \cdot 0,0045}{10 \cdot 0,386^2} = 0,65\%;$$

$$\text{Или } \Delta U_{45} = 0,65 \cdot \frac{0,386}{100} = 0,0025 \text{ кВ};$$

$$U_{45} = 0,386 - 0,0025 = 0,383 \text{ кВ};$$

Отклонения напряжения:

$$\delta U_0 = 5\%;$$

$$\delta U_1 = \delta U_0 - \delta U_{ТПП} = 0 - 0,018 = -0,018$$

$$\delta U_2 = \delta U_1 - \Delta U_{12} \% = -0,018 - 1,61 = -1,79\%;$$

$$\delta U_3 = \delta U_2 - \Delta U_{23} \% = -1,79 - 1,8 = -3,6\%;$$

$$\delta U_4 = \delta U_3 - \Delta U_{34} \% = -4,1 - 0,65 = -4,25\%;$$

Согласно [6], для силовых сетей отклонения напряжения от минимального должны составлять не более -5%. В данном случае условие выполняется

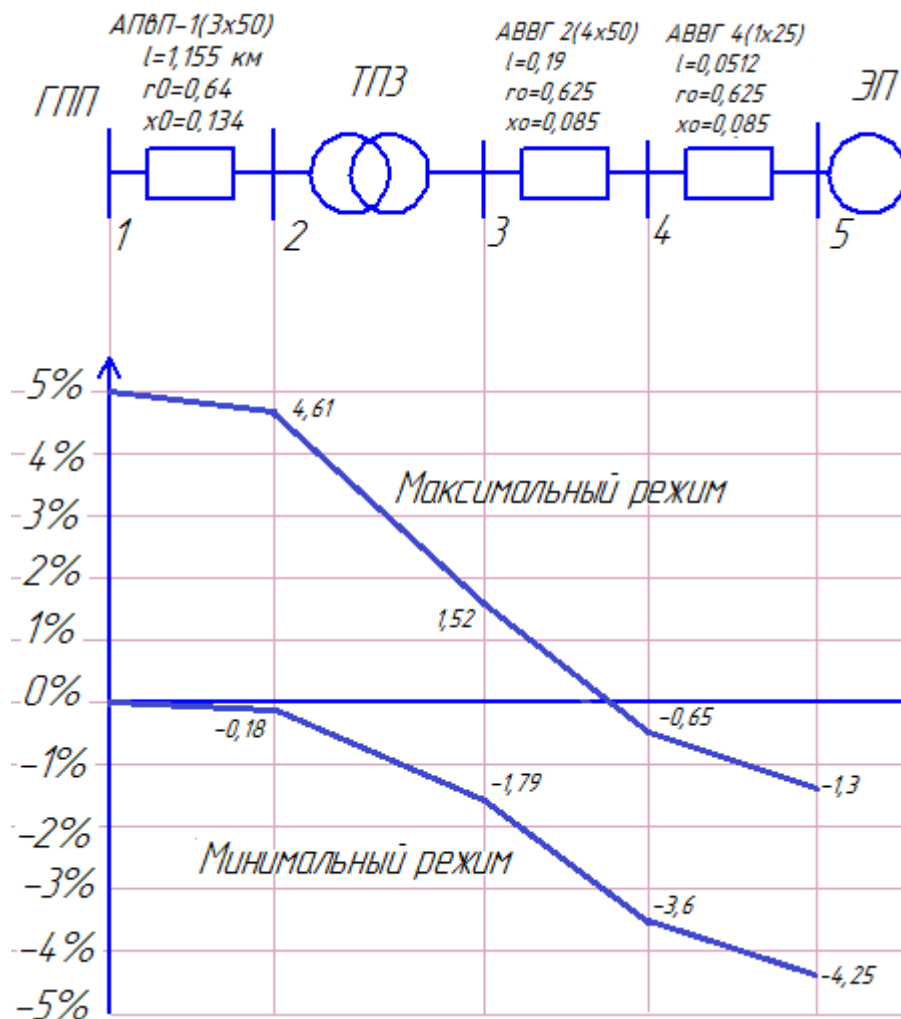


Рисунок 2.11 – Эпюры отклонений напряжения

## 2.15. Расчёт токов короткого замыкания в сети до 1000 В

Расчет токов КЗ проводим для участка цеховой сети от ТП-3 до наиболее мощного электроприемника цеха (№55). Полученные данные наносим на карту селективности действия аппаратов защиты.

Расчёт токов КЗ в сети до 1000 В имеет следующие особенности:

1) принимаем мощность системы  $S_c = \infty$ , что правомерно при  $S_c \geq 50S_{н.тр.}$ , т.е. напряжение на шинах подстанции считается неизменным при КЗ в сети до 1000 В;

2) при расчёте учитываются активные и реактивные сопротивления до точки КЗ всех элементов сети: силового трансформатора, сопротивление токовой катушки автоматического выключателя и переходное сопротивление контактов, сопротивление первичной обмотки трансформаторов тока, сопротивление проводов и кабелей;

3) расчёт ведётся в именованных единицах, напряжение принимается на 5% выше номинального напряжения сети. Принимаем  $U_c = 400\text{В}$ .

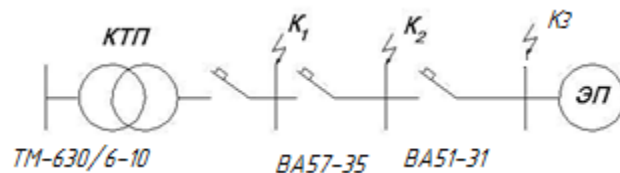


Рисунок 2.12 – Схема для расчета токов короткого замыкания в сети до 1000 В

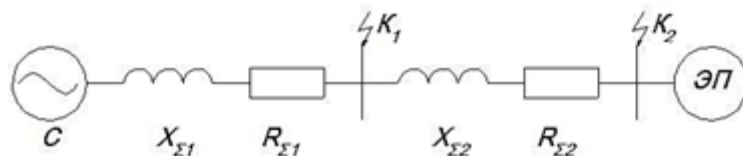


Рисунок 2.13 - Схема замещения для расчета токов короткого замыкания в сети до 1000В

Сопротивление катушек максимального тока и неподвижных контактов выключателей:

Сопротивление добавочное на шинах ТПЗ:

$$R_{сш} = 15 \text{ мОм};$$

Расчёт токов КЗ для точки К1:

Активное сопротивление трансформатора:

$$R_{тр} = \frac{\Delta P_{кз} \cdot U_c^2}{S_{н.тр}^2} = \frac{8,5 \cdot 400^2}{630^2} = 3,4 \text{ мОм}.$$

Реактивное сопротивление трансформатора:

$$X_{mp} = \sqrt{\left(\frac{U_k \%}{100}\right)^2 - \left(\frac{\Delta P_{K3}}{S_{н.мп}}\right)^2} \cdot \frac{U_{ном}^2}{S_{н.мп}} = \sqrt{\left(\frac{5,5}{100}\right)^2 - \left(\frac{8,5}{630}\right)^2} \cdot \frac{400^2}{630} = 13,54 \text{ мОм}.$$

Суммарное полное сопротивление до точки КЗ:

$$Z_{к1} = \sqrt{(R_{мп} + R_{CIII})^2 + (X_{мп})^2} = 22,87 \text{ мОм}.$$

Действующее значение тока КЗ:

$$I_{к1} = \frac{U_c}{\sqrt{3} \cdot Z_{к1}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 22,87} = 10,09 \text{ кА}$$

Ударный ток КЗ:

$$i_y^{к1} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{к1} = 1 \cdot \sqrt{2} \cdot 10,09 = 14,28 \text{ кА},$$

где  $k_y$  – ударный коэффициент [5, рис. 2.22].

Расчёт токов КЗ для точки К2:

$$R_{кл1} = r_0 \cdot L = 0,625 \cdot 0,19 = 118,75 \text{ мОм};$$

$$X_{кл1} = x_0 \cdot L = 0,085 \cdot 0,19 = 18,62 \text{ мОм};$$

Сопротивление катушек максимального тока автомата

$$R_{кат} = 0,1 \text{ мОм};$$

$$X_{кат} = 0,1 \text{ мОм}.$$

Переходное сопротивление контактов:

$$R_{конт} = 0,15 \text{ мОм}.$$

Суммарное полное сопротивление до точки КЗ:

$$R_{к2} = R_{мп} + R_{кл} + R_{кат} + R_{конт} = 3,2 + 118,75 + 0,1 + 0,15 = 137,4 \text{ мОм}$$

$$X_{к2} = X_{мп} + X_{кл} + X_{кат} = 13,5 + 18,62 + 0,1 = 32,26 \text{ мОм}$$

Суммарное полное сопротивление до точки К2:

$$Z_{к2} = \sqrt{R_{к2}^2 + X_{к2}^2} = \sqrt{137,4^2 + 32,26^2} = 141,16 \text{ мОм}.$$

Действующее значение тока КЗ:

$$I_{к2} = \frac{U_c}{\sqrt{3} \cdot Z_{к2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 141,16} = 1,18 \text{ кА};$$

Ударный ток КЗ:

$$i_y^{к2} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{к2} = 1 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,18 = 1,66 \text{ кА},$$

где  $k_y$  – ударный коэффициент [5, рис. 2.22].

**Расчёт токов КЗ для точки КЗ:**

$$R_{кл} = r_0 \cdot L = 1,25 \cdot 0,0512 = 64 \text{ мОм};$$

$$X_{кл} = x_0 \cdot L = 0,091 \cdot 0,0512 = 4,66 \text{ мОм};$$

Сопротивление катушек максимального тока автомата

$$R_{кат} = 0,1 \text{ мОм};$$

$$X_{кат} = 0,1 \text{ мОм}.$$

Переходное сопротивление контактов:

$$R_{конт} = 0,15 \text{ мОм}.$$

Суммарное полное сопротивление до точки КЗ:

$$R_{кз} = R_{к2} + R_{кл} + R_{кат} + R_{конт} = 137,4 + 64 + 0,1 + 0,15 = 201,68 \text{ мОм}$$

$$X_{кз} = X_{к2} + X_{кл} + X_{кат} = 32,26 + 4,66 + 0,1 = 37,02 \text{ мОм}$$

Суммарное полное сопротивление до точки КЗ:

$$Z_{к2} = \sqrt{R_{к2}^2 + X_{к2}^2} = \sqrt{201,68^2 + 37,02^2} = 205,05 \text{ мОм}.$$

Действующее значение тока КЗ:

$$I_{к2} = \frac{U_c}{\sqrt{3} \cdot Z_{к2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 201,68} = 1,13 \text{ кА};$$

Ударный ток КЗ:

$$i_y^{к2} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{к2} = 1 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,13 = 1,59 \text{ кА},$$

где  $k_y$  – ударный коэффициент [5, рис. 2.22].

**2.16. Построение карты селективности действия аппаратов защиты для участка цеховой сети**

Карту селективности строим для участка цеховой сети от вводного автомата на подстанции ТП-3 до самого мощного электроприемника (электропечи).

Данные для построения карты селективности представлены в таблице 2.15. и в таблице 2.16.

Таблица 2.15 – Данные для построения карты селективности

	ЭП	ПР7	ТП-3	I <sub>кз</sub> в соотв. точках, кА		
4				1	2	3
I <sub>р</sub> , А	-	194,07	943,88	10,1	1,18	1,13
I <sub>пик</sub> , А	-	398,22	1518,19	10,1	1,18	1,13
I <sub>ном</sub> , А	47,97	-		10,1	1,18	1,13
I <sub>пуск</sub> , А	239,85	-		10,1	1,18	1,13

Таблица 2.16 – Данные для построения карты селективности

Наименование аппарата защиты	Номинальный ток расцепителя, А	Номинальный ток срабатывания уставки в зоне КЗ, А
ВА83-41(ТП3)	1000	2000
ВА57-35(ПР7)	200	500
ВА51-31(ЭП)	63	472,5

Защитные характеристики автоматических выключателей, которые необходимо использовать для построения карты селективности действия аппаратов защиты, приведены в [3, с. 87].

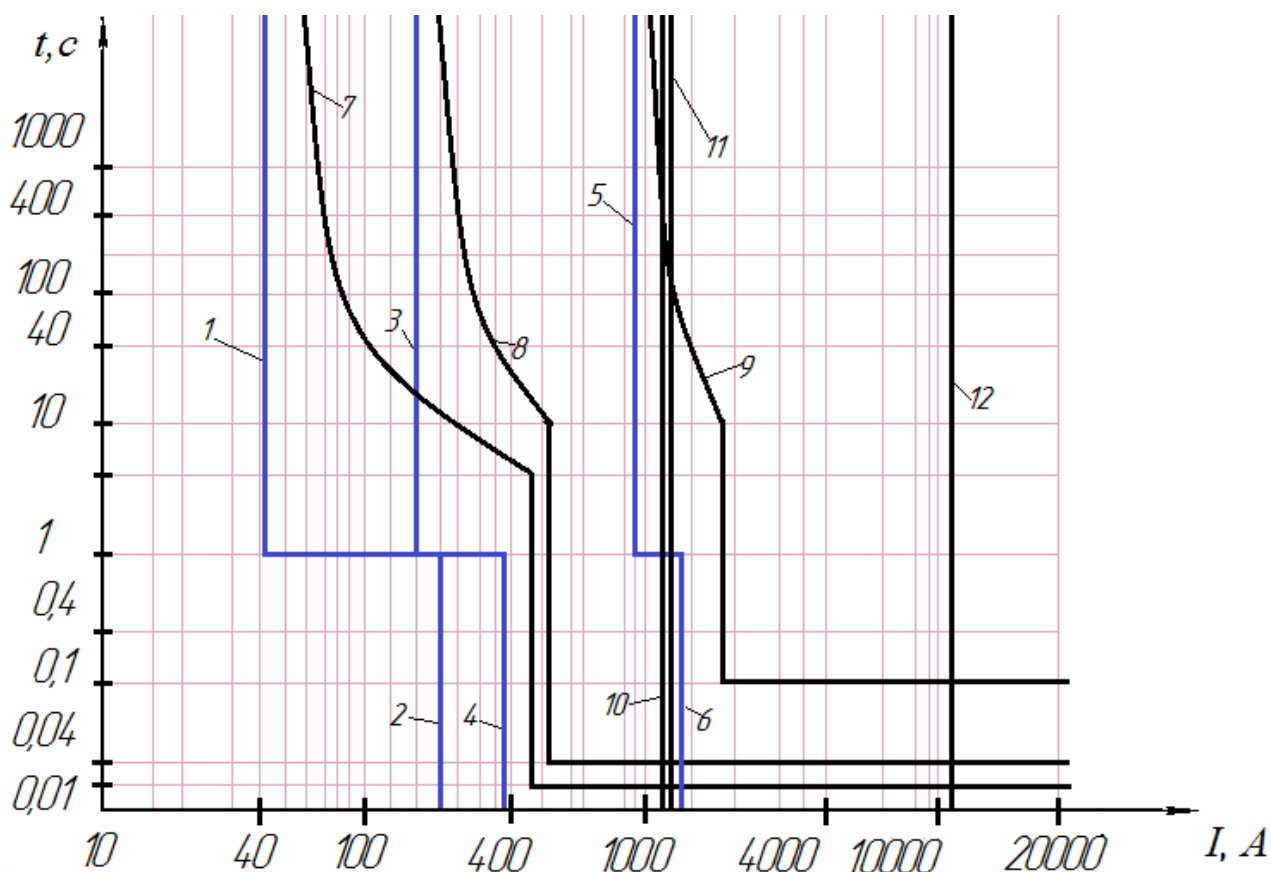


Рисунок 2.14 - Карта селективности действия защиты в установках до 1000 В

- 1- Номинальный ток ЭП;
- 2- Пусковой ток ЭП;
- 3- Расчетный ток ПР-7;
- 4- Пиковый ток ПР-7;
- 5- Расчетный ток ТП-3;
- 6- Пиковый ток ТП-3;
- 7- Защитная характеристика автоматического выключателя ВА51-31;
- 8- Защитная характеристика автоматического выключателя ВА57-35;
- 9- Защитная характеристика автоматического выключателя ВА83-41;
- 10 - Ток короткого замыкания в точке К3;
- 11 - Ток короткого замыкания в точке К2;
- 12 - Ток короткого замыкания в точке К1;



### **3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

Цель данного раздела – рассмотрение технического проекта с точки зрения его целесообразности и эффективности его использования.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- планирование структуры работ технического проекта;
- определение сметы проекта;
- определение ресурсоэффективности проекта.

В данном разделе рассчитывается сумма затрат на проектирование системы электроснабжения цеха по ремонту электровазлов локомотивного депо и сумма затрат на покупку оборудования для реализации проекта.

#### **3.1 Организация работ технического проекта**

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в проектировании системы электроснабжения;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика выполнения проекта.

В рабочей группе предусматриваются два исполнителя: преподаватель и студент (бакалавр). Составлен перечень этапов и работ в рамках проведения проектирования и произведено распределение исполнителей по видам работ.

Перечень этапов, работ и распределение исполнителей приведены в таблице 3.1

Таблица 3.1 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

№ Раб	Основные этапы	Содержание работ	Должность исполнителя
1	Постановка задачи	Изучение первичной информации об объекте, формулировку требований к техническому проекту, составление задания и плана на работу	Руководитель
2	Обзор литературы	Изучение первичной информации об объекте, формулировку требований к техническому проекту, составление задания и плана на работу	Бакалавр
3	Изучение особенностей основ расчета и проектирования электроснабжения	Подбор источников, касающихся расчетов и различных сторон ТП	Бакалавр
4	Сбор и систематизация данных об электроприемниках	Уточнение коэффициентов мощности для каждого электроприемника	Бакалавр
5	Создание схемы системы электроснабжения для кузнечного цеха	Проектирование внутрицехового электроснабжения	Бакалавр
6	Проверка схемы	Согласование и ознакомление руководителя с принятым решением по созданию схемы электроснабжения	Руководитель
7	Выбор количества, мощности и расположения цеховых трансформаторных подстанций с учетом компенсации реактивной мощности	Обоснование принятых решений по расчетам нагрузок цехов	Бакалавр
8	Проработка схемы внутризаводской сети выше 1кВ	Выбор оптимального варианта по электроснабжению завода	Бакалавр
9	Выбор распределительных пунктов в сети ниже 1 кВ	Выбор оптимального варианта по электроснабжению цеха	Бакалавр
10	Проработка и проверка схемы прокладки низковольтных линий от КТП до отдельных ЭП	Обоснование выбора кабельных линий с учетом категории помещения	Бакалавр
11	Проверка внутрицеховой сети по потерям напряжения. Построение эпюр отклонения напряжения	Расчет потерь напряжения до самого мощного электроприемника в цеху, построение эпюры отклонений напряжения	Руководитель Бакалавр

Продолжение таблицы 3.1

12	Построение карты селективности действия защитных аппаратов	Построение карты селективности с учетом принятой защитной аппаратуры	Руководитель Бакалавр
13	Обработка результатов	Обоснование принятых решений, корректировка замечаний и исправлений, указанных руководителем	Бакалавр
14	Оформление записки	Окончательная проверка руководителем, устранение недочетов дипломником	Руководитель Бакалавр
15	Сдача выпускной квалификационной работы	Подготовка к защите и защита ВКР	Бакалавр

### 3.2 Определение трудоемкости выполнения технического проекта

Задачей расчёта является разработка системы электроснабжения промышленного предприятия и экономическое обоснование принятых решений.

Трудоемкость выполнения проекта оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула [9]:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \quad (3.1)$$

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

$t_{mini}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, чел.-дн.;

$t_{maxi}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, чел.-дн.

Ожидаемая трудоёмкость и время выполнения работ приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Календарная продолжительность работ

№ этапа	Наименование этапа	Кол-во человек	Трудоёмкость работ, чел-дни		
			Минимально возможная	Максимально возможная	Ожидаемая
1	Постановка задачи	Руководитель	1	1	1
2	Обзор литературы	Бакалавр	6	9	8
3	Изучение особенностей основ расчета и проектирования электроснабжения	Бакалавр	2	5	4
4	Сбор и систематизация данных о электроприемниках	Бакалавр	7	15	11
5	Создание схемы системы электроснабжения для цеха по ремонту электровозов	Бакалавр	7	11	9
6	Проверка схемы руководителем	Руководитель	1	1	1
7	Выбор количества, мощности и расположения цеховых трансформаторных подстанций с учетом компенсации реактивной мощности	Бакалавр	6	10	8
8	Проработка схемы внутривозводской сети выше 1кВ	Бакалавр	8	10	9
9	Выбор распределительных пунктов в сети ниже 1 кВ	Бакалавр	9	12	11
10	Проработка и проверка схемы прокладки низковольтных линий от КТП до отдельных ЭП	Бакалавр	6	10	8
11	Проверка внутрицеховой сети по потерям напряжения. Построение эпюр отклонения напряжения.	Руководитель	1	1	1
		Бакалавр	9	13	10
12	Построение карты селективности действия защитных аппаратов	Руководитель	1	1	1
		Бакалавр	4	6	5
13	Обработка результатов	Бакалавр	4	8	6
14	Оформление записки	Руководитель	2	2	2
		Бакалавр	14	18	16
15	Сдача выпускной квалификационной работы	Бакалавр	2	4	3
		Руководитель	1	1	1

На основе таблицы 3.2 строится план-график проведения работ (рисунок 3.1). График строится для ожидаемого по длительности исполнения работ в рамках технического проекта с разбивкой по месяцам и декадам за период времени подготовки ВКР.

Общая продолжительность выполнения расчетов составила 108 рабочих дней ( $t_{\text{раб}}$ ).

По данным таблицы 3.2 и по линейному графику (рисунок 3.1) продолжительность работ для исполнителей проекта составляет:

- для руководителя проекта 7 раб.дн.;
- для студента 107 раб.дн

### **3.3. Определение сметы проекта**

В смету проекта включаются затраты на финансирование деятельности исполнителей: заработная плата всех работников, непосредственно участвующих в выполнении работ по данному проекту, отчисления во внебюджетные фонды, а также накладные расходы .

#### **3.3.1. Заработная плата исполнителей проекта**

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} , \quad (3.2)$$

где,  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p \quad (3.3)$$

№	Вид работ	Исполнители	Т <sub>р</sub> Дн.	Продолжительность выполнения работ											
				фев	март			апрель			май			июнь	
				3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Постановка задачи	Руководитель	1	■											
2	Обзор литературы	Бакалавр	8	■											
3	Изучение особенностей проектирования	Бакалавр	4		■										
4	Систематизация данных	Бакалавр	11		■	■									
5	Создание схемы электроснабжения цеха	Бакалавр	9			■	■								
6	Проверка схемы руководителем	Руководитель	1				■								
7	Выбор трансформаторных подстанций	Бакалавр	8				■	■							
8	Проработка внутризаводской схемы	Бакалавр	9					■	■						
9	Выбор распределительных пунктов	Бакалавр	11						■	■					
10	Проработка низковольтных линий	Бакалавр	8							■	■				
11	Проверка по потерям напряжения	Руководитель	1									■			
		Бакалавр	10								■	■			
12	Построение карты селективности	Руководитель	1										■		
		Бакалавр	5									■	■		
13	Обработка результатов	Бакалавр	6									■	■		
14	Оформление записки	Руководитель	2										■		■
		Бакалавр	16										■	■	■
15	Сдача проекта	Бакалавр	2												■
		Руководитель	1												■

Рисунок 3.1 – План-график продолжительности работы.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{т}} + З_{\text{д}} + З_{\text{рк}}}{F_{\text{д}}}, \quad (3.4)$$

где  $З_{\text{т}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$З_{\text{д}}$  – стимулирующие выплаты;

$З_{\text{рк}}$  – доплата с учетом районного коэффициента, (для Томска  $K_{\text{рк}} = 1,3$ ).

$F_{\text{д}}$  – фонд рабочего времени персонала, раб.дн.

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 3.3

Таблица 3.3 - Расчет основной заработной платы.

Исполнители	Оклад, руб	Доплата, руб	Доплата с учетом районного коэффицие нта, руб	Месячный оклад работника, руб	Среднедневна я заработная плата, руб	Продолжи- тельность, дн	Основная ЗП, руб
Руководитель	19327	1000	6098	26425	1016	7	7114
Бакалавр	8000	-	2400	10400	400	107	42800

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей проекта учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} \quad (3.5)$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Расчет дополнительной и полной заработной платы приведен в табл.3.4.

Таблица 3.4 - Расчет полной заработной платы.

Исполнители	Коэффициент дополнительной заработной платы	Основная заработная плата, руб	Дополнительная заработная плата, руб	Полная заработная плата, руб
Руководитель	0,15	7114	1067	8200
Бакалавр	0,12	42800	5136	48000
Итого				56200

### 3.3.2. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (3.6)$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

$$З_{внеб} = 0,302 \cdot 56200 = 17,0 \text{ тыс.руб}$$

### 3.3.3. Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина составляет 16% от общей суммы затрат.

Результаты расчетов по затратам на полную заработную плату, отчисления во внебюджетные фонды, накладные расходы и структура затрат приведена в табл. 3.5.



Таблица 3.5 - Расчет сметы проекта

Наименование статьи	Сумма, тыс.руб.	Структура затрат, %
1. Затраты на полную заработную плату исполнителей проекта	56,2	64,5
2. Отчисления во внебюджетные фонды	17,0	19,5
3. Накладные расходы	13,8	16,0
Итого	87,0	100,0

Общая сумма затрат проекта по принятому варианту исполнения составляет 87 тыс.руб. Наибольшую часть суммы (65%) данного проекта составляет заработная плата исполнителям.

### 3.4. Расчет стоимости технических средств

Для реализации электроснабжения цеха по ремонту электровозов локомотивного депо требуются технические средства.

В качестве затрат принимаются затраты на закупку:

- трансформаторов для главной понизительной подстанции
- комплектных трансформаторных подстанций;
- кабелей с учетом условий прокладки;
- автоматических выключателей для цеха по ремонту электровозов.
- конденсаторных батарей.
- транспортно-заготовительные расходы

Стоимость технических средств сведена в табл. 3.6. [10-13]

Таблица 3.6 - Расчет стоимости технических средств.

Наименование	Кол-во, шт.	Цена, тыс.руб.	Стоимость, тыс.руб.
Трансформаторы ГПП ТДНС – 10000/35	2	5979,0	11958,0
Трансформаторы КТП ТМ – 630/10	13	220,0	2860,0
Автоматический выключатель ВА57–35	28	2,1	59,0
Автоматический выключатель ВА51-25	7	7,0	49,2
Автоматический выключатель ВА51-31	43	1,5	64,5
Конденсаторные батареи УКЛ 56-10,5	2	46,7	93,4
Конденсаторные батареи УKM 58-0,4	13	78,0	1014,0
Итого			16098,1

Стоимость технических средств учитывает затраты предприятия на их транспортировку и рассчитывается по формуле:

$$TЗР = C_{мс} \cdot \kappa_{тзр}; \quad (3.7)$$

где  $C_{мс}$  – суммарная стоимость технических средств

$\kappa_{тзр}$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы, принимаемый  $\kappa_{тзр}=1,1$ .

$$TЗР = 16,09 \cdot 1,1 = 17,7 \text{ млн.руб.}$$

Для осуществления электроснабжения используются кабельные линии разного сечения и типа изоляции.

Длина кабельных линий, тип кабельных линий, условия их прокладки приведены в таблице 3.7.

Таблица 3.7. Расчет стоимости кабельных линий.

Вид кабеля	Длина линии, км	Условия прокладки	Цена кабеля, руб/км	Цена изолирующего материала, руб/км	Общая стоимость, тыс.руб.
Кабель марки АПвП (ГПП-КТП)	1,2	В траншее	23500	-	28,2
Кабель марки АПВ (КТП-ПР)	1,0	В канале	17900	7640	25,5
Кабель марки АПВ (ПР-ЭП)	2,1	В канале	13600	7470	44,3
Итого					98,0

Стоимость кабельных линий учитывает затраты предприятия на их транспортировку и рассчитывается по формуле:

$$TЗР = C_{кл} \cdot \kappa_{тзр}; \quad (3.8)$$

где  $C_{кл}$  – суммарная стоимость кабельных линий

$\kappa_{тзр}$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы, принимаемый  $\kappa_{тзр}=1,1$ .

$$TЗР = 98 \cdot 1,1 = 107,8 \text{ тыс.руб.}$$

Сумма затрат на покупку всего оборудования с учетом их количества и кабельных линий, включая затраты на транспортировку приведена в таблице 3.8

Таблица 3.8. Суммарная стоимость всего оборудования

Наименование	Стоимость млн,руб	Структура, %
Технические средства	17,7	99,4
Кабельные линии	0,1	0,6
Итого	17,8	100

Для реализации электроснабжения цеха по ремонту электровозов локомотивного депо проектом предусмотрена закупка оборудования на сумму 17,8 млн.руб.

### 3.5. Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности[9]:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (3.9)$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i^a, b_i^p$  – балльная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Оценку характеристик проекта проведем на основе критериев, соответствующих требованиям к системе электроснабжения промышленных предприятий:

1. Экономичность: оптимизация затрат на электрическую часть предприятия на стадии проектирования приводит к их уменьшению на доли процентов, в абсолютном же измерении речь идет об экономии значительных средств.

2. Гибкость: возможность частых перестроек технологии производства и развития предприятия.

3. Безопасность: обеспечение безопасности работ, как для электротехнического персонала, так и для не электротехнического;

4. Обеспечение надлежащего качества электроэнергии: качество электроэнергии, удовлетворяющее требованиям ГОСТ 13109-97.

5. Надежность: бесперебойное снабжение электроэнергией в пределах допустимых показателей ее качества и исключение ситуаций, опасных для людей и окружающей среды.

6. Простота и удобство в эксплуатации: возможность использования персоналом более доступного, автоматизированного и адаптивного по конструкции техническим характеристикам электрооборудования на предприятии.

7. Энергоэффективность: использование меньшего количества энергии для обеспечения установленного уровня потребления энергии в зданиях либо при технологических процессах на производстве.

Весовые коэффициенты характеристик проекта приведены в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
1. Экономичность	0,15	4
2. Гибкость	0,10	4
3. Безопасность	0,15	5
4. Обеспечение надлежащего качества электроэнергии	0,18	5
5. Надежность	0,20	5
6. Простота и удобство эксплуатации	0,07	5
7. Энергоэффективность	0,15	4
Итого	1,00	

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности:

$$I_p = 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,18 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,07 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 = 4,6$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности использования

технического проекта. Высокие баллы надежности и помехоустойчивости позволяют судить о надежности системы.

В данном разделе выпускной квалификационной работы была рассчитана сумма затрат на расчет системы электроснабжения локомотивного депо в составе двух человек: руководителя проекта и бакалавра. Общая суммарная затрат проекта по принятому варианту исполнения составляет 87 тыс.руб.

Проектом предусмотрена закупка всего оборудования, при реализации. Для принятого электрооборудования была посчитана общая сумма затрат на их покупку, которая составляет 17,8 млн.руб.

## **4.СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

### **4.1.Описание рабочей зоны**

Безопасность жизнедеятельности представляет собой систему законодательных актов и соответствующих им социально - экономических, технических, гигиенических, организационных мероприятий, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда.

Целью данного раздела является оценка условий труда, анализ вредных и опасных факторов, воздействующих на работника, разработка мер защиты от них, также рассмотрение вопросов техники безопасности, пожарной профилактики и охраны окружающей среды при работе в цехе по ремонту электровозов локомотивного депо.

Для осуществления производства в данном цехе установлено соответствующее оборудование (70 единиц). Технологический процесс включает в себя работу со сварочным оборудованием, станками и транспортными приспособлениями.

Персонал, обслуживающий электроустановки и оборудование промышленных предприятий, работает в условиях возможного воздействия ряда неблагоприятных для здоровья факторов, обусловленных состоянием помещений и характером производства. В связи с этим, обязательным является соблюдение санитарных норм проектирования промышленных предприятий СП 2.2.1.1312-03.

### **4.2 Анализ опасных и вредных факторов**

К числу вредных производственных факторов относятся: неблагоприятные метеорологические условия, высокие уровни шума и вибрации, электромагнитные и ионизирующие излучения, производственные пыли, газы, пары, яды, вредные микроорганизмы, механические факторы,

могущие привести к травмированию персонала. К опасным на данном производстве относятся следующие факторы:

- Возможность поражение человека вращающимися частями электрооборудования (токарно-винторезный станок, наждачное точило);
- Возможность термическое поражение при контакте с частями электроустановок (печь);
- Возможность поражения электричеством (работа со сварочным аппаратом, случайное прикосновение к токоведущим частям оборудования).

### **4.3 Производственная санитария**

Согласно ГОСТ 12.0.002-97 производственной санитарией называется система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих или уменьшающих воздействие на работающих вредных производственных факторов.

Для создания нормальных условий работы объем производственных помещений должен составлять на одного работающего не менее 15 м, площадь не менее 4,5 м, при высоте помещения не меньше 3,2 м.

В цехах должны быть предусмотрены гардеробные, душевые, помещения для отдыха, оздоровительные кабинеты для рабочих завода.

#### **4.3.1 Воздух рабочей зоны**

Большое значение для охраны здоровья и труда человека имеет качество воздуха в производственных помещениях.

По ГОСТ 12.1.005-97ССБТ нормируются следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздушного потока, ПДК вредных веществ.

Эти данные приведены в таблице 4.1

Таблица 4.1 – Нормируемое качество воздуха

<b>Сезон года</b>	<b>Категория работы</b>	<b>Температура, С°</b>	<b>Относительная влажность, %</b>	<b>Скорость движения воздуха, м/с</b>
<b>Холодный и переходный периоды года</b>	II б	17-19	60-40	0,3
<b>Теплый период года</b>	II б	20-22	60-40	0,4

При оценке допустимых значений температуры и влажности воздуха учитывается категория тяжести работ. По степени физической тяжести работа относится к категории средней тяжести IIб (СанПиН 2.2.4.548-96).

#### **4.3.2 Вентиляция**

При осуществлении любого производственного процесса, как правило, всегда выделяется теплота. Источниками теплоты являются печи, котлы, паропроводы и т. д. Теплота выделяется при сжигании топлива, нагреве, при переходе электроэнергии в теплоту и т. п.

Многие производственные процессы сопровождаются выделением пыли. Проникая в организм человека при дыхании, при заглатывании и через поры кожи могут вызвать различные заболевания. Поэтому для поддержания микроклимата в цехах завода в оптимальном состоянии используется вентиляция помещений.

Вентиляция позволяет осуществлять регулируемый воздухообмен, обеспечивающий нормальные санитарно-гигиенические условия в производственных помещениях.



В цехах завода используется общеобменная, механическая приточно-вытяжная вентиляция. Для очистки загрязненного воздуха, выбрасываемого в атмосферу используются пылеотделители.

#### **4.3.3 Защита от шума и вибрации**

Так же к вредным факторам на производстве относятся шум. Повышение звукового давления негативно влияет на орган слуха. Для измерения громкости (в децибелах Дб) может быть использован двушкальный шумомер. В цехе допускается громкость около 100 Дб. Громкость выше 140 Дб может вызвать болевой эффект.

Шум на исследовательском рабочем месте создаётся вентиляционной системой и производственным оборудованием (станки).

В качестве защиты от шума и звука следует применять нормирование; некоторые технические тонкости, звукоизоляцию, звукопоглощение, специальные глушители аэродинамического шума, средства индивидуальной защиты (наушники, беруши, противошумные каски, специальная противошумная одежда).

Всё оборудование, являющееся источником вибраций, должно быть установлено на виброопорах.

#### **4.3.4 Освещение**

Оценка освещенности рабочей зоны необходима для обеспечения нормированных условий работы в помещениях и проводится в соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03.

Нормы общей минимальной освещенности в люкс (ЛК) производственных объектов:

- двигателя , станки	13
- лебёдка	15
- подъемная мачта	2
- приемные мостики	13

<b>- шкафы контрольно-измерительных приборов в помещениях и на наружных установках</b>	<b>50</b>
<b>- трапы, газовые сепараторы</b>	<b>20</b>
<b>- эстакады</b>	<b>5</b>
<b>- механические мастерские</b>	<b>50</b>

Правильно спроектированное и выполненное освещение на предприятии, обеспечивает возможность нормальной производственной деятельности.

Наилучшим видом освещения является дневное, солнечное. Все цеха завода имеют естественное освещение. Но дневной свет не может обеспечить нужное освещение в течении всего рабочего дня, а так же зависит от погодных условий.

Поэтому цеха завода обеспечиваются естественным и искусственным освещением. В качестве источников искусственного освещения применяются лампы ДРЛ и LED.

#### **4.4 Электробезопасность**

Электрический ток представляет значительную опасность для здоровья человека непосредственно при контакте человека с токопроводящей поверхностью. Рассматриваемый цех в данной работе относится к помещениям с повышенной опасностью.

Электробезопасность - система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного действия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Прохождение электрического тока через тело человека вызывает поражение различных органов, оказывает воздействие на нервную систему, кровеносно-сосудистую систему человека, на кровь, сердце, мозг и т.д.

Виды воздействий электрического тока на организм человека:

- термическое воздействие тока проявляется в ожогах, нагрев кровеносных сосудов, сердца, мозга и других органов, находящихся на пути протекания тока до критической температуры;
- электролитическое действие тока выражается в разложении крови, что нарушает ее состав и функции;
- механическое действие тока проявляется в значительном давлении в кровеносных сосудах и мышечных тканях;
- биологическое действие тока проявляется в раздражении живых тканей, что вызывает реакцию организма – возбуждение, что и обуславливает непроизвольное сокращение мышц.

При наиболее неблагоприятном исходе воздействие электрического тока может привести к смерти человека.

Основным документом, регламентирующим воздействие электрического тока в производственных условиях, является ГОСТ 12.1.009-76.

Для защиты персонала от поражения электрическим током в цехах завода используются следующие меры: защита от случайного прикосновения; защитное заземление; зануление.

#### **4.4.1 Защита от случайного прикосновения**

Для исключения возможности случайного прикосновения или опасного приближения к токоведущим частям в цехах завода обеспечивается их недоступность путем ограждения, блокировок или расположения токоведущих частей на недоступную высоту.

Ограждения применяются как сплошные, в виде кожухов и крышек, применяемые в электроустановках до 1000 В, так и сетчатые, которые имеют двери, запирающиеся на замок.

в электроустановках до 1000 В ограждаются – неизолированные токоведущие части, находящиеся под напряжением части ЭД, пусковая аппаратура, открытые плавкие вставки.

В электроустановках выше 1000 В – все без исключения токоведущие части (изолированные и неизолированные) должны быть надежно ограждены сетками, закрыты металлическими дверями, заключены в металлические ящики или расположены на недоступной высоте.

Блокировки применяются в электроустановках, в которых часто производятся работы на ограждаемых токоведущих частях и электрических аппаратах. Электрические блокировки осуществляют разрыв цепи специальными контактами, которые устанавливаются на дверях кожух. Блокировки применяются также для предупреждения ошибочных действий персонала при переключениях.

#### **4.4.2 Защитное заземление**

Защитное заземление – преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением вследствие замыкания на корпус и по другим причинам (индуктивное влияние соседних токоведущих частей, вынос потенциала, разряд молнии и т. п.). Основное назначение защитного заземления – устранение опасности поражения персонала электрическим током при появлении напряжения на конструктивных частях электрооборудования.

В качестве примера рассчитаем защитное заземление для одного из электроприёмников спроектированного цеха. Исходные данные примем произвольно.

*Исходные данные:*

- напряжение электроустановки – 380В;

- мощность источника питания сети - свыше 100 кВА;
- сеть с заземленной нейтралью;
- форма вертикальных электродов - уголок с шириной полки  $b = 4$  см;
- длина вертикального электрода  $l = 2$  м;
- глубина размещения вертикальных электродов  $h = 0,7$  м,;
- отношение расстояний между заземлителями к их длине составляет  $a/l = 2$ ;
- размеры контура заземления  $L_1 = 24$  м,  $L_2 = 8$  м;
- форма горизонтального электрода - полоса шириной  $b = 12$  мм;
- грунт торф,
- характеристика климатической зоны: средняя многолетняя высшая температура  $+ 15$  °С.

Ток замыкания на землю  $I_z = 500$  А, так как рассматривается сеть до 35 кВ.

Для установок с напряжением до 1000В и мощностью источника питания сети свыше 100кВА допустимое сопротивление растеканию тока  $R_d = 4$  Ом.

Тип заземляющего устройства - контурный (размер контура 24x8).

Рассчитаем параметры заземлителя.

Суммарная длина горизонтального электрода  $l_g = 2(24+8) = 64$  м.

Расстояние между вертикальными электродами должно быть не менее 2,5 - 3,0 м. Примем количество вертикальных электродов  $n = 12$  шт.

Расчетное значение удельного сопротивление грунта для:

- вертикального заземлителя:

$$\rho = \rho_{\text{гр}} \cdot K_{\text{п}} = 20 \cdot 2 = 40 \text{ Ом} \cdot \text{м};$$

- для горизонтального заземлителя:

$$P = \rho_{\text{гр}} \cdot K_{\text{п}} = 20 \cdot 7 = 140 \text{ Ом} \cdot \text{м};$$

Сопротивление одиночного вертикального заземлителя  $R_B$  определяется по формуле:

$$R_B = 0,366 \cdot \frac{40}{2} \lg \frac{2 \cdot 2}{0,95 \cdot 0,04} + 0,51 \lg \frac{4 \cdot (1 + 0,7) + 2}{4 \cdot (1 + 0,7) - 2} = 17 \text{ Ом};$$

Сопротивление горизонтального заземлителя  $R_r$  определяется по формуле:

$$R_r = 0,366 \cdot \frac{140}{64} \lg \frac{64^2}{0,5 \cdot 0,012 \cdot 0,7} = 4,7 \text{ Ом};$$

Расчетное сопротивление заземлителя  $R_z$  вычисляется по формуле:

$$R_z = \frac{R_B \cdot R_r}{R_B \cdot \eta_r + R_r \cdot \eta_B \cdot n} = \frac{17 \cdot 4,7}{17 \cdot 0,4 + 4,7 \cdot 0,68 \cdot 12} = 2,06 \text{ Ом};$$

Поскольку выполняется условие  $R_z \leq R_d$ , расчет защитного заземления выполнен верно.

Стоит отметить, что защитное заземление не всегда может быть эффективным. Тогда прибегают к занулению.

#### 4.4.3 Зануление

Защитное зануление в электроустановках напряжением до 1 кВ - преднамеренное соединение открытых проводящих частей с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, с заземленной

точкой источника в сетях постоянного тока, выполняемое в целях электробезопасности.

Зануление применяется в четырехпроводных сетях напряжением до 1000 В с заземленной нейтралью.

При занулении корпуса электрооборудования соединяются не с заземлителями, а с нулевым проводом.

Принцип действия: зануление превращает замыкание на корпус в однофазное короткое замыкание, в результате чего срабатывает максимальная токовая защита и селективно отключает поврежденный участок сети. Кроме того, зануление снижает потенциалы корпусов, появляющиеся в момент замыкания на землю. При замыкании на зануленный корпус ток короткого замыкания проходит через обмотки трансформатора, фазный провод и нулевой провод.

#### **4.5 Пожарная безопасность**

Цех рассматриваемого депо, согласно Федеральному закону РФ от 22.07.2008 г. №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», относится к категории «Д», т.е. это производство, в котором обрабатываются негорючие вещества и материалы в холодном состоянии.

Противопожарная защита имеет своей целью изыскание наиболее эффективных, экономически целесообразных и технически обоснованных способов и средств предупреждения пожаров и их ликвидации с минимальным ущербом при наиболее рациональном использовании сил и технических средств тушения.

Система пожарной защиты предусматривает следующие меры: применение не горючих и трудногорючих веществ и материалов в производстве, ограничения количества горючих веществ и их надлежащее

размещение; изоляция горючей среды; применение средств коллективной и индивидуальной защиты от огня и средств пожарной сигнализации.

Все цеха завода оборудуются электрической пожарной сигнализацией, которая служит для быстрого извещения службы пожарной охраны о возникшем пожаре.

Помимо пожарного оборудования в местах, определенных пожарной охраной, должны быть размещены пожарные щиты со следующим набором пожарного оборудования: топоров – 2; ломов и лопат – 2; багров железных – 2; ведер, окрашенных в красный цвет – 2; огнетушителей – 2.

#### **4.6 Охрана окружающей среды**

Важными направлениями охраны окружающей среды следует считать совершенствование технологических процессов и разработку нового оборудования с меньшим уровнем выбросов в окружающую среду, замену и по возможности широкое применение дополнительных методов и средств защиты окружающей среды.

Также из-за использования обтирочных материалов образуются твердые отходы, для которых предусмотрены места хранения, и в конце смены они очищаются. При удалении отходов с территории предприятия им присваиваются категории опасности и вывозятся на соответствующие полигоны (промышленных отходов, токсичных отходов и т.д.).

В качестве дополнительных средств защиты применяют аппараты и системы для очистки газовых выбросов, сточных вод от примесей. Важную роль в защите окружающей среды отводится мероприятиям по рациональному размещению источников загрязнения: оптимальное расположение промышленных предприятий с учетом местности; установление санитарно-защитных норм вокруг промышленных предприятий.



Производственные сточные воды после соответствующей очистки могут быть повторно использованы в технологическом процессе, для чего создаются системы оборотного водоснабжения либо замкнутые (бессточные) системы водоснабжения и канализации, при которых исключается сброс каких-либо вод в водоёмы.

Вследствие использования работниками душевых и туалетов образуются жидкие отходы для удаления, которых применяют канализационную систему.

#### 4.7 Эвакуация людей из зданий и помещений

В соответствии с требованиями главы СНиП 11-2-80 эвакуационные пути должны обеспечивать эвакуацию всех людей, находящихся в помещениях зданий и сооружений, в течение необходимого времени эвакуации. Расчетное время эвакуации людей из помещений и зданий определяют исходя из протяженности эвакуационных путей и скорости движения людских потоков на всех участках пути от наиболее удаленных мест до эвакуационных выходов.

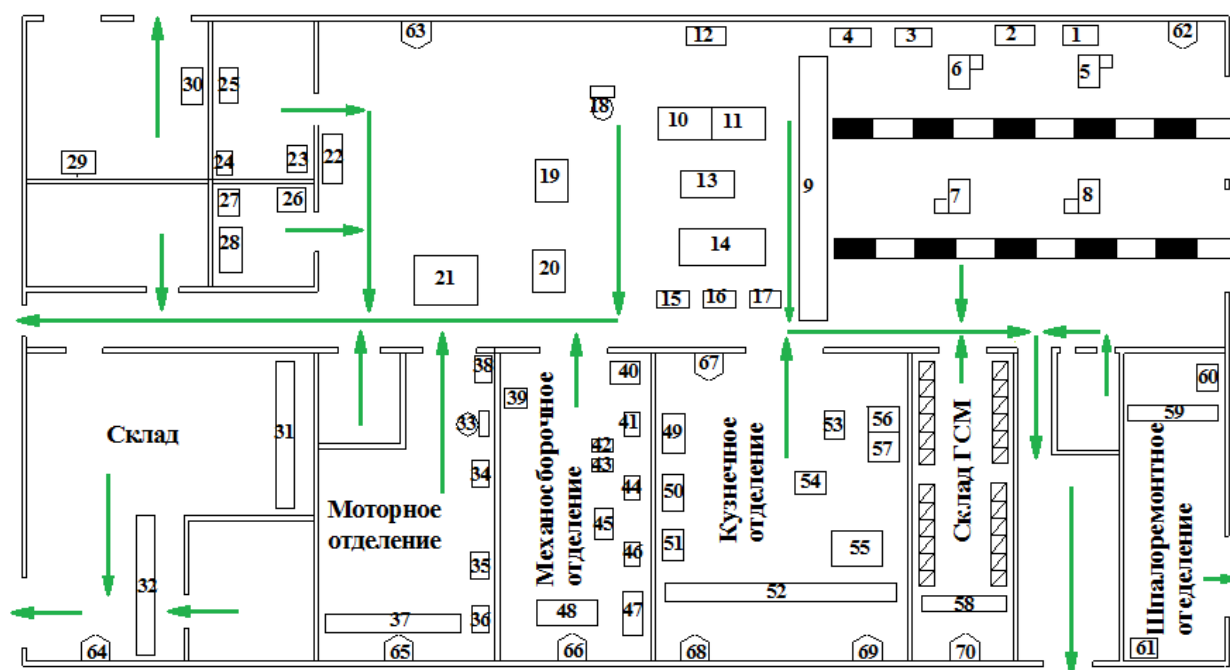


Рисунок 4.1 – План эвакуации

## **Заключение**

В работе рассчитана сеть электроснабжения цеха по ремонту электровозов локомотивного депо.

В результате расчетов были определены:

- полная расчетная нагрузка цеха по ремонту электровозов методом упорядоченных диаграмм,
- полная расчетная мощность депо методом коэффициента спроса.

По результатам расчета нагрузки по цехам предприятия построена картограмма нагрузок для потребителей 10 кВ, определен центр нагрузок. Установка ГПП произведена в зоне рассеяния центра электрических нагрузок.

Определено число и мощность цеховых силовых трансформаторов и произведено их распределение по цехам предприятия.

Произведена необходимая компенсация реактивной мощности с помощью конденсаторных батарей.

Электроснабжение завода осуществляется от подстанции энергосистемы, которая находится на расстоянии 8 км от предприятия. Питание предприятия по двухцепной воздушной линии напряжением 35 кВ. Воздушная линия выполнена проводом марки АС-35. На ГПП, с целью обеспечения надежности электроснабжения потребителей второй категории, устанавливаются два трансформатора ТДНС-10000/35.

На стороне 10 кВ ГПП используется одинарная система шин с секционным выключателем. Питание цеховых трансформаторов осуществляется по двухцепным СПЭ кабельным линиям напряжением 10 кВ серии АПвП.

Произведен выбор автоматических выключателей на цепочке «ТП – самый мощный ЭП цеха». Выбраны кабели, питающие распределительные шкафы (0,4 кВ), провода ответвлений к электроприемникам.

По результатам расчетов построены эпюры отклонений напряжения для максимального, минимального режимов. Анализ эпюр показал, что во всех

режимах отклонение напряжения не превышает максимально допустимого  $\pm 5\%$ .

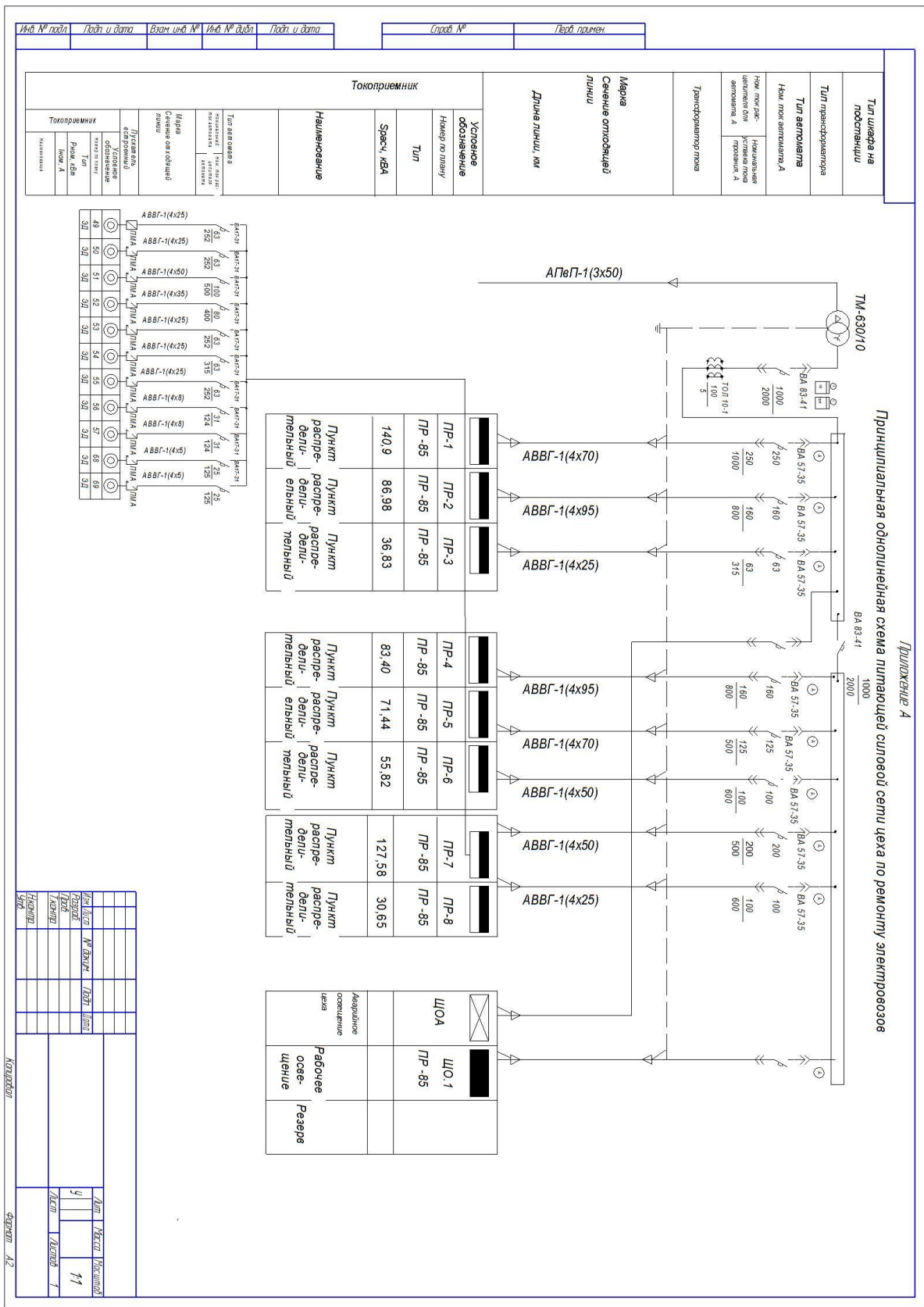
По результатам расчета токов КЗ в сети 0,4 кВ построена карта селективности действия защитных аппаратов. По карте видно, что все аппараты защиты работают селективно.

Дополнительной частью в работе является распределение мощности батарей конденсаторов по узлам нагрузки цеховой сети напряжением до 1 кВ.

### Список используемых источников

- 1 Л.П Суморокова Электроснабжение промышленных предприятий.– Томск: ТПУ, 2012 .
- 2 Справочные данные по расчетным коэффициентам электрических нагрузок Тяжпромэлектропроект 1990г.
- 3 Правила устройства электроустановок [Текст]: Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. – Новосибирск: Сиб. Унив. Изд-во, 2009. – 853 с., ил.
- 4 Г. Н. Ополева, Схемы и подстанции электроснабжения. Справочник: Учеб. пособие. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2006, 480 с
- 5 Л.Д. Рожкова, В.С. Козулин. Электрооборудование станций и подстанций. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 646 с.
- 6 Кабышев А.В., Обухов С.Г. Расчет и проектирование систем электроснабжения: Справочные материалы по электрооборудованию: Учеб. пособие / Том. политехн. ун-т. – Томск, 2005. – 168 с.
- 7 А.А.Федоров ,Справочник по электроснабжению и электрооборудованию.- М:Энергоатомиздат 1987., 588 стр.
- 8 В.Н.Радкевич , Проектирование систем электроснабжения, Минск НПООО «Пион» 2001, 288 стр.
- 9 Видяев И.Г., Серикова Г.Н., Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина З.В. Криницына; ТПУ. – Томск: Изд-во ТПУ, 2014. – 36 с.
- 10 [http://www.xn--80awnkb7d.xn--p1ai/goods/7503098-transformator\\_tdns\\_10000\\_35\\_10](http://www.xn--80awnkb7d.xn--p1ai/goods/7503098-transformator_tdns_10000_35_10)
- 11 <http://www.electro-mpo.ru/catalog-cgroupe57.html>
- 12 <http://www.elprivod.ru/pricekrm/index.html>
- 13 <http://ekb.propartner.ru/offers/avtomaticheskii-vyklyuchatel-va-51-35m-100a-340010-i1163492.html>

## Приложение А (Однолинейная схема)



## Приложение Б (Расчетные нагрузки цеха по ремонту электровозов)

Исходные данные						Расчетные величины			п <sub>эф</sub> , эффективное число ЭП	К <sub>м</sub> , коэффициент максимума	Расчетная мощность			I <sub>p</sub> , Расчетный ток, А	
По заданию технологов					По справочным данным		P <sub>см</sub> = K <sub>и</sub> *P <sub>н</sub>	Q <sub>см</sub> = K <sub>и</sub> *P <sub>н</sub> *tg(фи)			m, модуль силовой сборки	P <sub>p</sub> , Активная, кВт	Q <sub>p</sub> , Реактивная, кВАp		S <sub>p</sub> , Полная, кВА
№ п/п		Количество ЭП, шт	Номинальная установленная мощность		Коэффициент использования K <sub>и</sub>	cosφ/ tgφ									
	Наименование ЭП			Одного ЭП, P <sub>н</sub>			общая PΣ=P <sub>н</sub> *n								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	ПР1,группа А														
1	Сварочный трансформатор	1	20	20	0.25	0,35/2,68	5	13.4							
2	Зарядное устройство	1	15	15	0.2	0,8/0,75	3	2.25							
3	Сварочный трансформатор ПВ=40 %	1	12.6	12.6	0.25	0,4/2,3	3.15	7.245							
4	Зарядное устройство	1	15	15	0.2	0,8/0,75	3	2.25							
5_8	Домкрат	4	15	60	0.1	0,6/1,33	6	59.7							
9	Кран–балка	1	30	30	0.06	0,5/1,73	1.8	3.114							
	Итого по гр.А	9	12,6-30	152.6	0.14384		21.95	87.959	<3	9	2.2	48.29	96.755		
62	Вентилятор	1	20	20	0.6	0,6/1,33						20	26.6		
	Итого по гр.Б	1	20	20								20	26.6		
	Итого по ПР1	10	12,6-30	172.6								68.29	123.35	140.996	214.4757

	<b>ПР2, группа А</b>														
10.11	Механический пресс	2	3.5	7	0.17	0,65/1,17	1.19	1.3923							
12,13,18	Станки	3	2-5,5	12.5	0.12	0,5/8,27	1.5	12.405							
14	Выпрямитель	1	8	8	0.3	0,6/1,33	2.4	3.192							
15-17	Св.трансформатор	3	20	60	0.25	0,35/2,68	15	40.2		8.7					
	Итого по гр.А	9	2_20	87.5	0.2296		20.09	57.1893	>3	8	1.99	39.979	62.908		
	<b>ПР2, группа Б</b>														
67	Вентилятор	1	7.5	7.5	0.6	0,6/1,33						7.5	9.975		
	Итого по гр.Б	1		7.5											
	<b>Итого по ПР2</b>	10		95								47.479	72.88	86.9841	132.3153
19.20,28	Станки	3	3	9	0.12	0,5/1,73	1.08	1.8684							
21	Пресс фрикционный	1	10	10	0.17	0,65/1,17	1.7	1.989							
22	Испытательный стенд	1	5.5	5.5	0.3	0,7/1,02	1.65	1.683							
26.27	Муфельная печь	2	15	30	0.5	0,95/0,33	15	4.95		7.3					
	Итого по гр.А	7	3_15	54.5	0.356514		19.43	10.4904	>3	7	1.8	34.974	11.54	36.8285	56.02147
	<b>Итого по ПР3</b>	7		54.5								34.974	11.54	36.8285	56.02147
23_25	Испытательный стенд	3	5.5	16.5	0.3	0,7/1,02	4.95	5.049							
29, 30	Св.трансформатор	2	20	40	0.25	0,35/2,68	10	26.8		5.6					
	Итого по гр.А	5	5,5_20	56.5	0.264602		14.95	31.849	>3	5	2.42	36.179	35.034		
	<b>ПР4, группа Б</b>														
63	Вентилятор	1	20	20	0.6	0,6/1,33						20	26.6		
	Итого по гр.Б	1		20											
	<b>Итого по ПР4</b>	6		76.5								56.179	61.634	83.3955	126.8566
	<b>ПР5, группа А</b>														
31, 32, 37	Кран-балка	3	7,5-10	27.5	0.06	0,5/1,73	1.65	2.8545							
33,35,36	Станки	3	3_5	11	0.12	0,5/1,73	1.32	2.2836							
34	Св.трансформатор	1	20	20	0.25	0,35/2,68	5	13.4							

38	Выпрямитель	1	20	20	0.3	0,6/1,33	6	7.98							
	Итого по гр.А	8	3_20	78.5	0.177962		13.97	26.5181	>3	6	2.64	36.881	29.17		
	<b>ПР5, группа Б</b>														
64, 65	Вентилятор	2	7.5	15	0.6	0,6/1,33						15	19.95		
	Итого по гр.Б														
	<b>Итого по ПР5</b>	10	3_20	93.5								51.881	49.12	71.445	108.6781
	<b>ПР6, группа А</b>														
39_48	Станки	10	5,5_22	110	0.12	0,5/1,73	13.2	22.836	4						
	Итого по гр.А				0.12				>3	8	2.72	35.904	25.12		
	<b>ПР6, группа Б</b>														
66	Вентилятор	1	7.5	7.5	0.6	0,6/1,33						7.5	9.975		
	Итого по гр.Б														
	<b>Итого по ПР6</b>	11	5,5_22	117.5								43.404	35.095	55.817	84.9057
	<b>ПР7, группа А</b>														
49, 50	Гидравлический пресс	2	15	30	0.17	0,65/1,17	5.1	5.967							
51.53	Св.трансформатор	2	10_20	30	0.25	0,35/2,68	7.5	20.1							
52	Кран–балка	1	15	15	0.06	0,5/1,73	0.9	1.557							
	Итого по гр.А	5	10_20	75	0.18		13.5	27.624	<3	5	2.42	32.67	30.387		
	<b>ПР7, группа Б</b>														
54	Электромолот	1	20	20	0.8	0,8/0,75	16	12							
55	Электродпечь	1	30	30	0.75	0,95/0,33	22.5	7.425							
56.57	Вентилятор горна	2	15	30	0.75	0,85/0,62	22.5	13.95							
68.69	Вентилятор	2	7.5	15	0.6	0,6/1,33	9	11.97							
	Итого по гр.Б	6	7,6_30	95			70	45.345			1	70	45.345		
	<b>Итого по ПР7</b>	1 1		170								102.67	75.73	127.579	194.0659
	<b>ПР8, группа А</b>														
58, 59	Кран–балка	2	10	20	0.06	0,5/1,73	1.2	2.076							
60, 61	Токарный станок	2	15	30	0.12	0,5/1,73	3.6	6.228							
	Итого по гр.А	4	10_15	50	0.096		4.8	8.304	< 3	4	3.43	16.464	9.1344		



	ПР8, группа Б														
70	Вентилятор	1	7.5	7.5	0.6	0,6/1,33						7.5	9.975		
	Итого по гр.Б	1	7.5	7.5											
	Итого по ПР8	5	7,7_15	57.5								23.964	19.11	30.6503	46.62356
	Итого по силовой нагрузке	7 0	2_30	837.1								428.84	448.45	620.505	943.878

### Приложение В (Определение полной нагрузки предприятия в целом)

№	Наименование	Силовая нагрузка						Осветительная нагрузка										Сил. + осв. нагрузка		
		P <sub>н</sub> , кВт	K <sub>с</sub>	cos φ	tgφ	P <sub>p</sub> , кВт	Q <sub>p</sub> , кВар	F, м2	Тип ламп	Руд. для ЛН	Руд.о, кВт/м2	P <sub>н.о</sub> , кВт	K <sub>о.с</sub>	cosφ	tgφ	P <sub>ро</sub> , кВт	Q <sub>ро</sub> , кВар	P <sub>p</sub> +P <sub>ро</sub> , кВт	Q <sub>p</sub> +Q <sub>ро</sub> , кВар	S <sub>p</sub> ,кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10_1	10_2	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	Потребители Электроэнергии 0,38 кВ																			
1.	Цех по ремонту тепловозов	1780	0.6	0.75	0.882	1068	941.98	56000	ДРЛ	15	0.00375	210	0.95	0.35	2.68	199.5	534.66	1267.5	1476.636	
2.	Цех по ремонту путейской техники	930	0.8	0.75	0.882	744	656.21	53912	ДРЛ	15	0.00375	202.17	0.95	0.35	2.68	192.062	514.72	936.0615	1170.933	
3.	Цех по ремонту электровазов	837.1	0.5	0.7	1.02	418.55	426.92	25185	ДРЛ	15	0.00375	94.444	0.95	0.35	2.68	89.722	240.45	508.2716	667.3748	838.89
4.	Административный корпус	450	0.5	0.6	1.33	225	299.25	16917	LED	16	0.0032	54.134	0.9	0.95	0.33	48.721	16.078	273.721	315.3279	
5.	Бытовой корпус	100	0.5	0.7	1.02	50	51	4156.3	LED	16	0.0032	13.3	0.9	0.95	0.33	11.97	3.9501	61.97	54.9501	
6.	Склад кислородных баллонов	200	0.3	0.65	1.169	60	70.14	1494.5	ДРЛ	17	0.00425	6.3516	0.6	0.5	1.73	3.812	6.593	63.81098	76.73299	
7.	Склад баллонов сжиженного газа	150	0.3	0.7	1.02	45	45.9	1586	ДРЛ	17	0.00425	6.7405	0.6	0.5	1.73	4.0443	6.997	49.0443	52.89664	
8.	Материальный склад	70	0.25	0.6	1.33	17.5	23.275	20240	LED	15	0.003	60.72	0.6	0.35	2.68	36.432	97.638	53.932	120.9128	
9.	Компрессорная	850	0.7	0.8	0.75	595	446.25	12635	ДРЛ	17	0.00425	53.702	0.85	0.35	2.68	45.646	122.33	640.6465	568.5825	
10.	Раздаточная ГСМ	400	0.4	0.7	1.02	160	163.2	6302.4	ДРЛ	17	0.00425	26.785	0.85	0.4	2.3	22.767	52.366	182.7674	215.5651	
11.	Склад песка	350	0.25	0.6	1.33	87.5	116.38	5337.5	ДРЛ	15	0.00375	20.016	0.6	0.5	1.73	12.01	20.776	99.50938	137.1512	
12.	Пескосушилка	460	0.35	0.7	1.02	161	164.22	4074	ДРЛ	15	0.00375	15.278	0.85	0.6	1.33	12.986	17.271	173.9859	181.4912	

13.	Насосная	1200	0.7	0.8	0.75	840	630	3066	ДРЛ	16	0.004	12.264	0.85	0.35	2.68	10.4244	27.937	850.4244	657.9374	
	<b>Итого по 0,38 кВ</b>	7777.1																5161.645	5696.491	7687.2
	<b>Потребители Электроэнергии 10 кВ</b>																			
9	Компрессорная	6400	0.7	0.8	0.75	4480	3360													
13	Насосная	2500	0.7	0.8	0.75	1750	1312.5													
	<b>Итого по 10 кВ</b>	8900				6230	4672.5													7787.5
	Итого по заводу																	11391.64	10368.99	15404.1